# Wprowadzenie do

# SolidWorks Simulation

Autor: dr inż. Jerzy Domański

*jdom@uwm.edu.pl*

Celem opracowania jest przybliżenie studentom dodatku Simulation.

*Wskazane wcześniejsze opanowanie podstaw SolidWorks.*

**SPIS TREŚCI**

1. Wprowadzenie ... 2
   1.1. Rozpoczynanie pracy ... 2
   1.2. Typy siatki ... 3
   1.3. Najważniejsze ustawienia ... 6
   1.4. Umocowanie w obliczeniach na siatce belkowej ... 9
   1.5. Umocowanie w obliczeniach na siatce bryłowej ... 11
   1.6. Definicja obciążenia ... 11
   1.7. Definiowanie połączeń między elementami konstrukcji ... 12
2. Obliczenia z zastosowaniem siatki belkowej ... 13
3. Model wielobryłowy ... 19
   3.1. Dodawanie połączeń spawanych ... 19
   3.2. Materiał ... 20
   3.3. Uruchamianie analizy wytrzymałościowej ... 20
   3.4. Pierwsze kroki po utworzeniu analizy wytrzymałościowej ... 21
   3.5. Interakcje ... 21
      *3.5.1. Interakcja globalna ... 21*
      *3.5.2. Interakcja lokalna ... 22*
   3.6. Mocowanie i obciążenie ... 23
   3.7. Siatka ... 24
      *3.7.1. Siatka globalna ... 24*
      *3.7.2. Lokalne zagęszczenie siatki ... 25*
   3.8. Wyniki obliczeń ... 28
   3.9. Wybrane metody oceny modelu obliczeniowego oraz wyników ... 30
      *3.9.1. Przeglądarka interakcji ... 30*
      *3.9.2. Dodanie własnego wykresu ... 30*
4. Przykłady definicji połączeń śrubowych ... 31
   4.1. Definicja śrub fundamentowych ... 32
   4.2. Definicja śrub złącznych ... 32
   4.3. Definicja interakcji Wirtualna ściana ... 33
   4.4. Wyniki ... 34
5. Obliczenia z zastosowaniem siatki belkowej i powłokowej (skorupy) ... 35
6. Opcje SolidWorks Simulation ... 37
7. Podsumowanie ... 38

# 1. Wprowadzenie

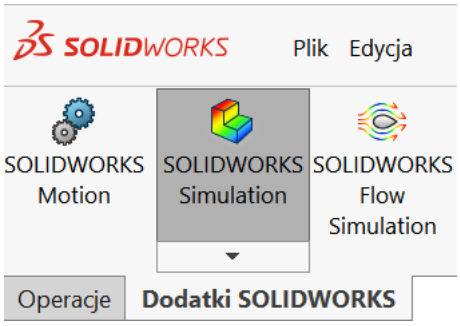
## 1.1. Rozpoczynanie pracy

Dodatek SolidWorks Simulation przeznaczony jest do wykonywania obliczeń wytrzymałościowych części (w tym wieloobiektowych) i złożeń.

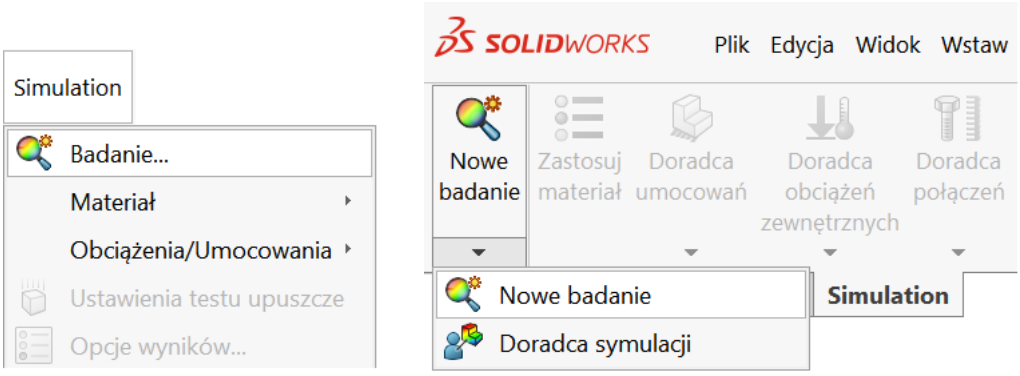
> *Analizy porównawcze programu SolidWorks Simulation z innymi programami przeznaczonymi do obliczeń wytrzymałościowych z zastosowaniem Metody Elementów Skończonych można znaleźć w wielu opracowaniach dostępnych w sieci, np. wpisując w przeglądarce zapytanie "SolidWorks Simulation czy …." lub "SolidWorks Simulation vs …."*

W opracowaniu nie wyjaśniano znaczenia wprowadzanych parametrów (np. rozmiar elementu skończonego, powód wyboru algorytmu tworzenia siatki itd.). Wiedzę w tym zakresie należy poszerzyć samodzielnie lub uzyskać na zajęciach dydaktycznych.

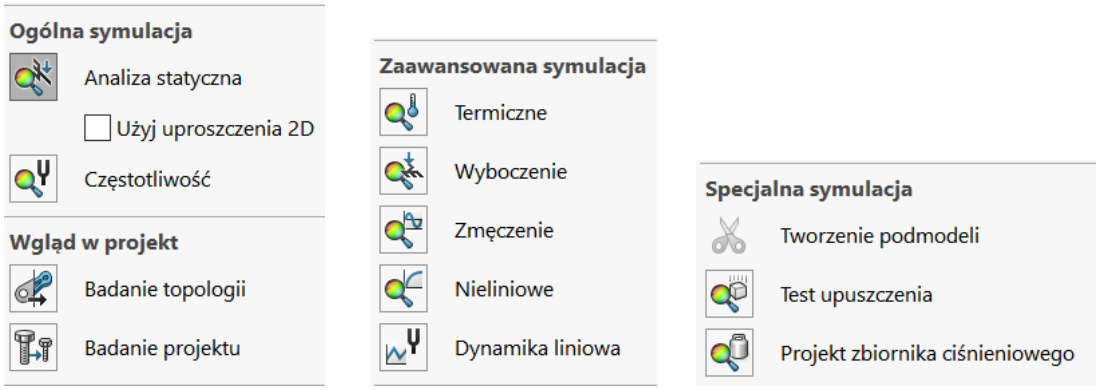
Uruchamianie dodatku **Simulation**:



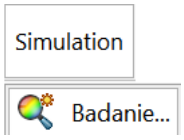

Po uruchomieniu dodatku zostaje wyświetlone menu oraz pasek **Simulation**:



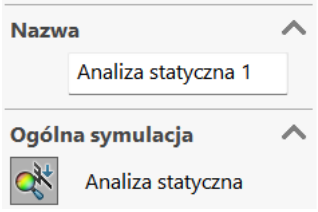

Poniżej przykład dostępnych analiz w SolidWorks Simulation (po wydaniu polecenia **Badanie**):



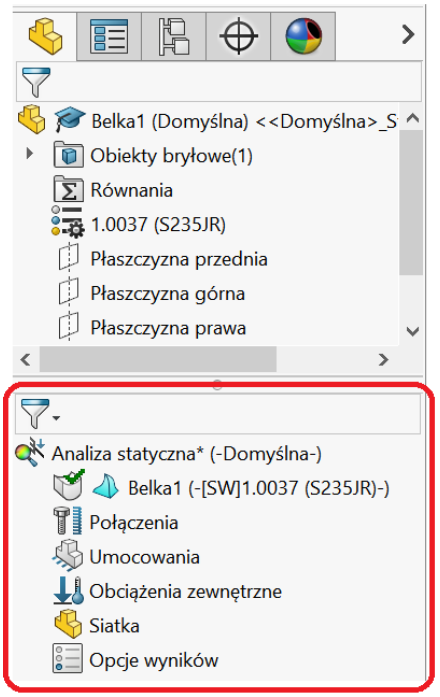

Po utworzeniu badania (z menu **Simulation**)




i wyborze typu analizy (w przykładzie **Analiza statyczna**)




zostaje wyświetlone drzewo Simulation (rysunek z prawej).




## 1.2. Typy siatki

W SolidWorks Simulation dostępne są siatki (*zielony znak oznacza zdefiniowany materiał*):

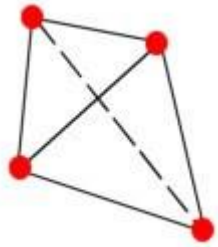
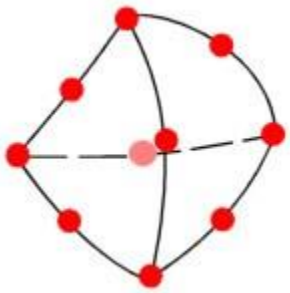
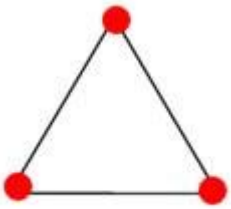
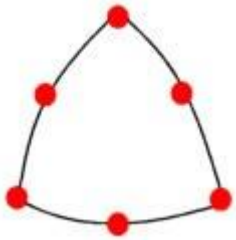
| Typ siatki | Symbol w drzewie Simulation |
|---|---|
| 1. Bryłowa – siatka trójwymiarowa,<br>*tylko elementy czworościenne, niezależnie od wybranego algorytmu tworzenia siatki:*<br>*- siatka standardowa,*<br>*- siatka oparta na krzywiźnie,*<br>*- siatka oparta na mieszanej krzywiźnie.* | |
| 2. Powierzchniowa (skorupy) – siatka dwuwymiarowa,<br>*elementy trójkątne* | |
| 3. Belkowa – siatka jednowymiarowa | |

Każda z w/w siatek ma swoje przeznaczenie i dobór siatki ma istotne znaczenie.

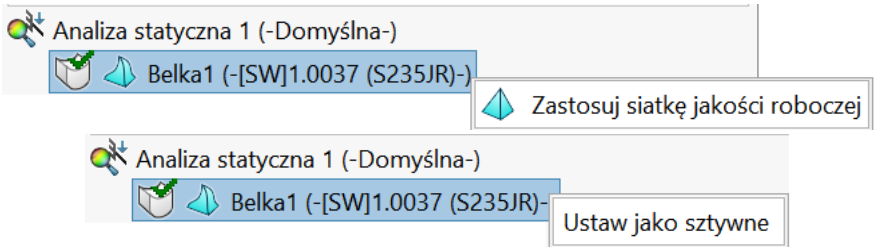
W przypadku siatki bryłowej można wyróżnić (*przykłady bez definicji materiału*):

| **Warianty siatki bryłowej** | **Symbol** |
|---|---|
| 1. Bryła deformowalna, siatka wysokiej jakości | |
| 2. Bryła deformowalna, siatka roboczej jakości | |
| 3. Bryła sztywna, siatka wysokiej jakości | |
| 4. Bryła sztywna, siatka roboczej jakości | |

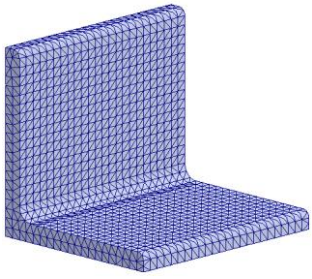
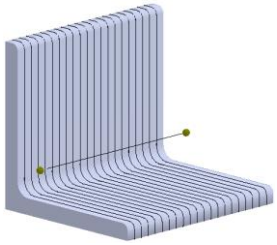
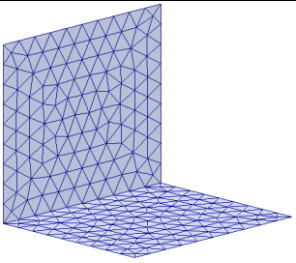
Siatka jakości roboczej to siatka, która posiada węzły tylko w miejscach połączeń elementów skończonych. Różnice pomiędzy elementami przedstawiono w formie graficznej poniżej.

| Siatka bryłowa | | Siatka skorupy | |
|---|---|---|---|
| Siatka jakości roboczej | Siatka wysokiej jakości | Siatka jakości roboczej | Siatka wysokiej jakości |
|  |  |  |  |

Poniżej przykłady zmiany jakości siatki i sztywności bryły:

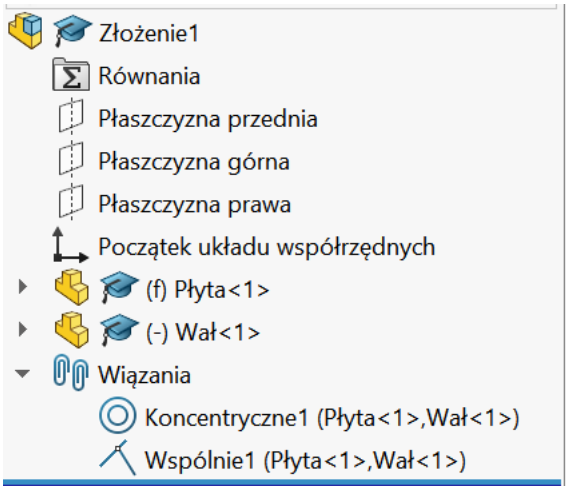


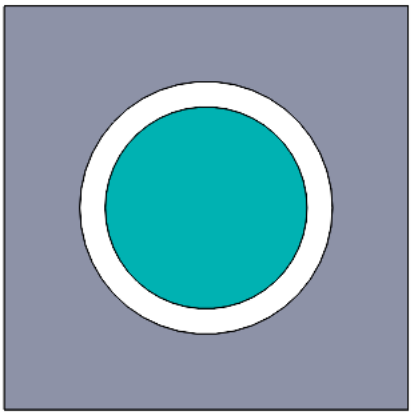

Poniżej przykłady różnych siatek na tym samym obiekcie:

| Siatka bryłowa | Siatka belkowa (*sposób prezentacji nie wpływa na obliczenia*) | | Siatka powłokowa *inna nazwa: Siatka skorupy* |
|---|---|---|---|
| | widok uproszczony | widok renderowany | |
|  | |  |  |

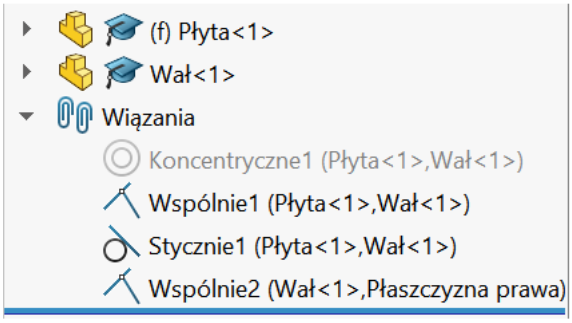
Należy pamiętać, że wzajemne oddziaływanie komponentów (interakcję) należy zdefiniować w SolidWorks Simulation, niezależnie od wiązań zastosowanych w złożeniu. Wskazanym jest aby w obliczeniach statycznych ustawić konstrukcję w rzeczywistym położeniu początkowym.

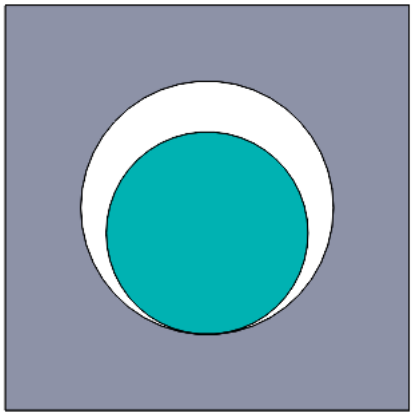
Poniżej przedstawiono przypadek zastosowania wiązania Koncentryczne – czy w rzeczywistej konstrukcji, poddanej co najmniej przyciąganiu ziemskiemu, Wał pozostanie w położeniu Koncentryczne?



Poniżej przykład ustawienia położenia początkowego, które odpowiada rzeczywistej konstrukcji.

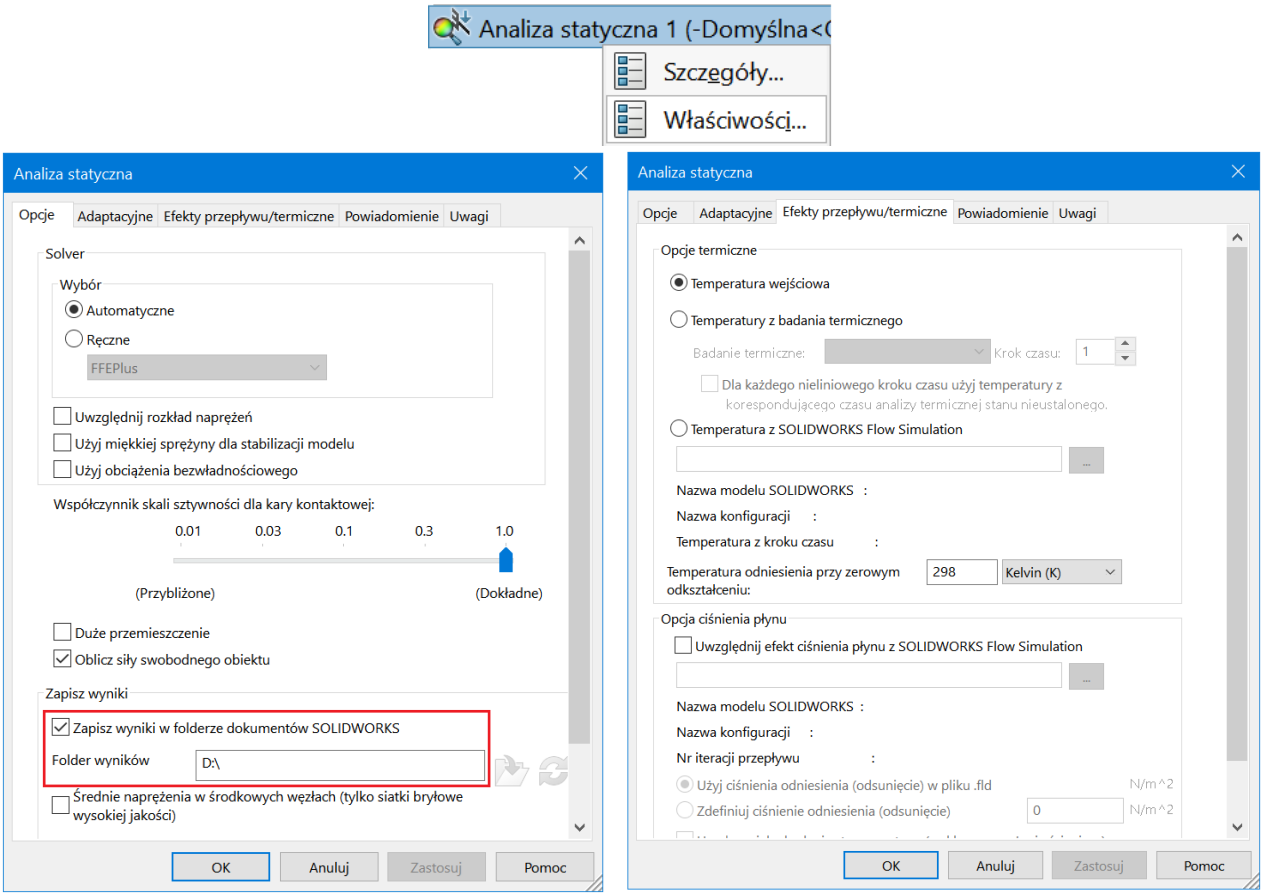


**Należy podkreślić, że wiązania złożenia pozwalają na pozycjonowanie komponentów w złożeniu ale nie są brane pod uwagę w obliczeniach wytrzymałościowych w SolidWorks Simulation.**

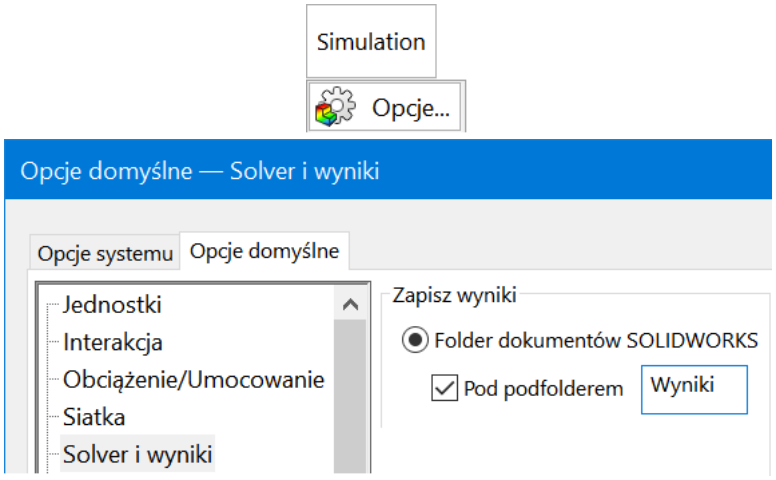
## 1.3. Najważniejsze ustawienia

W niniejszym opracowaniu omówiono jedynie podstawy obliczeń wytrzymałościowych w SolidWorks Simulation w zakresie analizy statycznej. Bardziej zaawansowane ustawienia dostępne są po kliknięciu prawym przyciskiem myszy w nazwę analizy i wybraniu **Właściwości**:

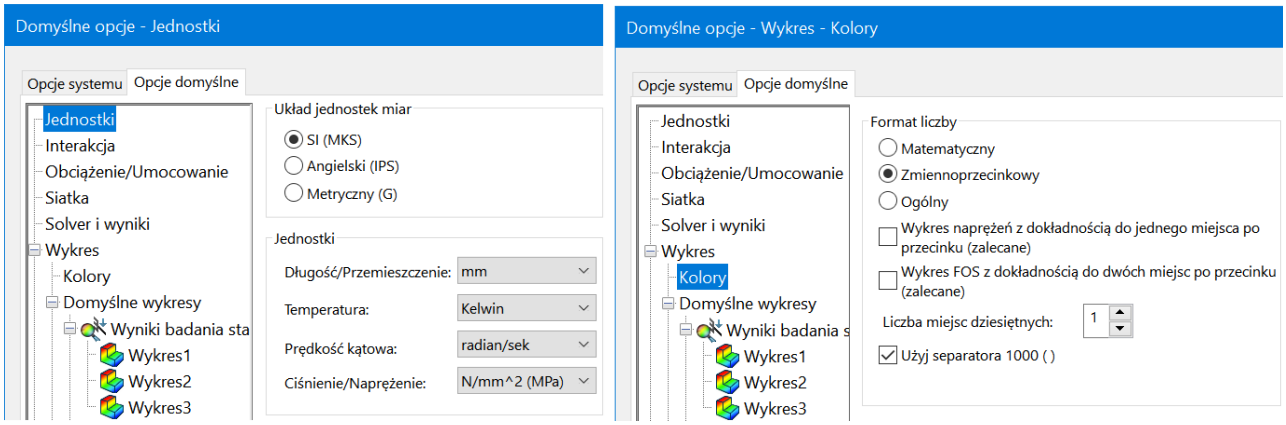


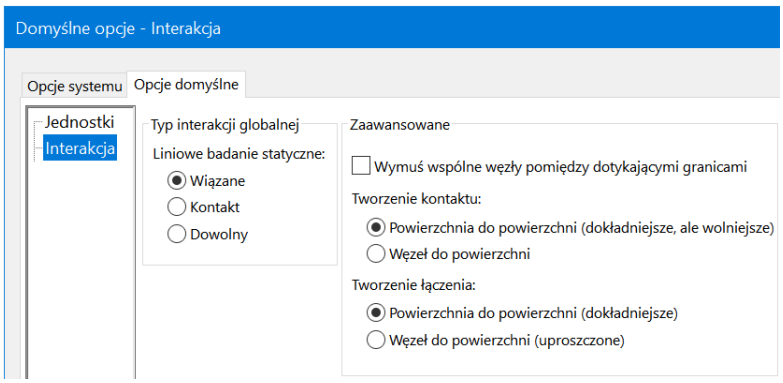

Bardzo istotny jest wybór folderu zapisu wyników. Jeżeli skopiujemy folder do innej lokalizacji należy sprawdzić w jakim folderze zapisywane są wyniki – może pozostać ścieżka do poprzedniej lokalizacji i nowe obliczenia mogą zastąpić wyniki w tym folderze. W taki sposób można zniszczyć wyniki przechowywane w poprzedniej lokalizacji.

W menu Simulation dostępne jest polecenie Opcje, w którym można wprowadzić nazwę podfolderu do przechowywania plików wyników (można wprowadzić własną nazwę podfolderu):

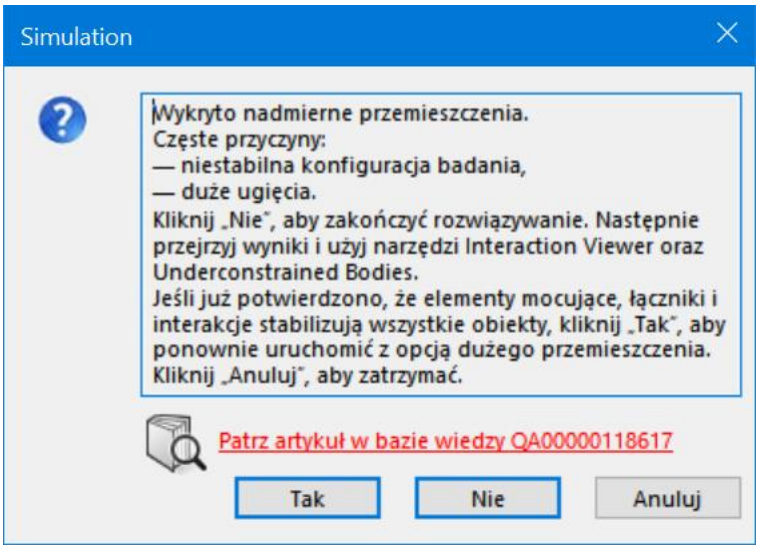


Poniżej pokazano przykłady wyboru opcji domyślnych
(*nie w każdym przypadku poniższe ustawienia będą odpowiednie*):



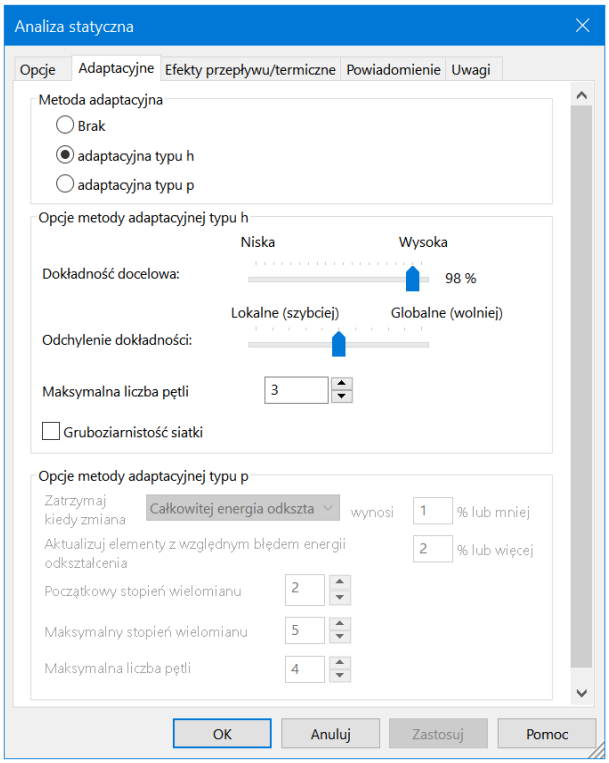



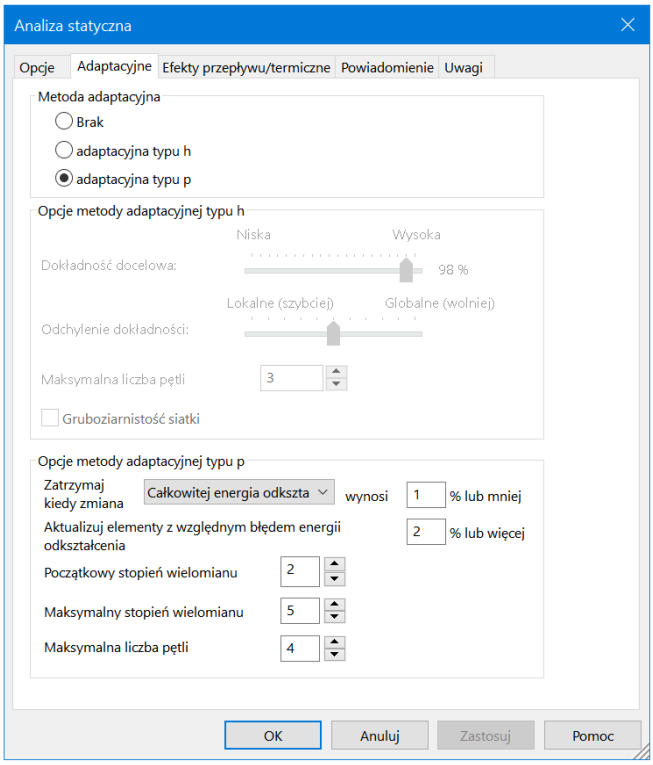

W przypadku nadmiernego obciążenia lub niestabilnej konstrukcji, w trakcie obliczeń może zostać wyświetlony poniższy komunikat. W takim przypadku wskazane jest kliknięcie Nie i sprawdzenie poprawności umocowania konstrukcji. Poniższy komunikat może również oznaczać odkształcenie powyżej granicy plastyczności.


Simulation
Wykryto nadmierne przemieszczenia.
Częste przyczyny:
— niestabilna konfiguracja badania,
— duże ugięcia.
Kliknij „Nie", aby zakończyć rozwiązywanie. Następnie przejrzyj wyniki i użyj narzędzi Interaction Viewer oraz Underconstrained Bodies.
Jeśli już potwierdzono, że elementy mocujące, łączniki i interakcje stabilizują wszystkie obiekty, kliknij „Tak", aby ponownie uruchomić z opcją dużego przemieszczenia.
Kliknij „Anuluj", aby zatrzymać.
Patrz artykuł w bazie wiedzy QA00000118617
Tak
Nie
Anuluj

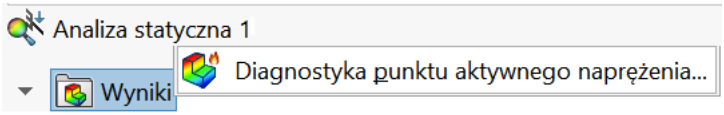
Należy podkreślić, że po wybraniu **Tak** w powyższym komunikacie, zostanie oznaczona opcja ☑ Duże przemieszczenie, która będzie obowiązywała dopóki jej nie usuniemy we właściwościach analizy. Jest to ważne w przypadku gdy poprawimy umocowanie i postanowimy wykonać obliczenia ponownie.

Program umożliwia również zastosowanie metod adaptacyjnych w celu automatycznego dostosowywania siatki – metody adaptacyjne wykraczają poza przyjęte ramy opracowania.



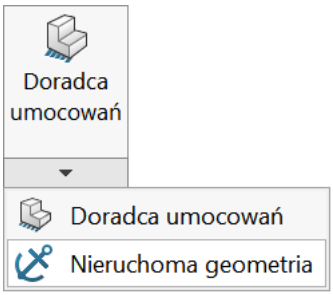



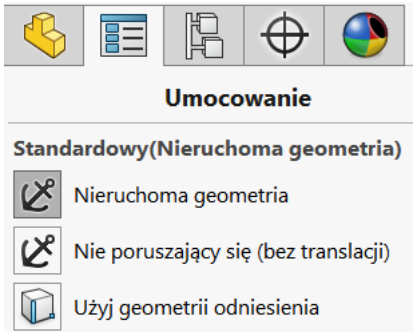

Użytkownikom, chcącym opanować obliczenia wytrzymałościowe w SolidWorks Simulation w stopniu zaawansowanym, polecam zapoznanie się z *Diagnostyką punktu aktywnego naprężenia*, która wykrywa obszary modelu z nieregularnymi gradientami naprężeń.



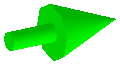
## 1.4. Umocowanie w obliczeniach na siatce belkowej

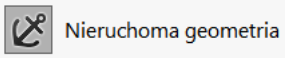
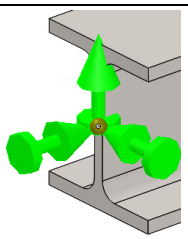
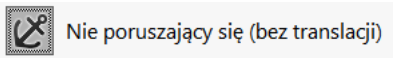
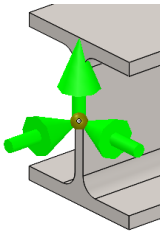
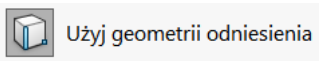
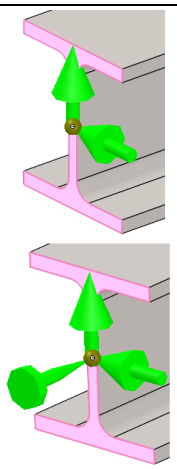
W programie, przy zastosowaniu siatki belkowej, dostępne są poniższe umocowania:



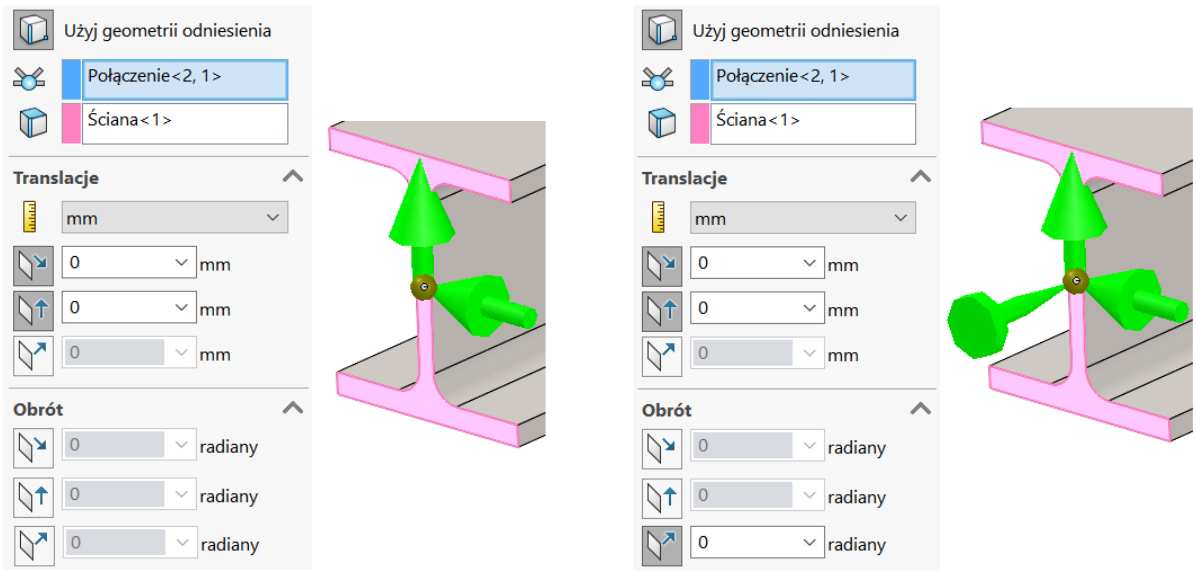

Znaczenie symboli odebranych stopni swobody (prezentacja zastosowania w kolejnej tabeli):

| | |
|---|---|
|  | Zdefiniowane przesunięcie w kierunku strzałki, w milimetrach |
| | Zdefiniowany obrót w kierunku osi koła wyświetlonego w symbolu, w radianach |
| | Jednocześnie zdefiniowane przesunięcie oraz zdefiniowany obrót |

| Rodzaj umocowania | Symbol | Znaczenie |
|---|---|---|
|  |  | **Utwierdzenie**<br>Odebrano 6 stopni swobody:<br>– trzy przesunięcia (symbol strzałki)<br>– trzy obroty (symbol koła) |
|  |  | **Podpora nieprzesuwna**<br>Odebrano 3 stopnie swobody:<br>– trzy przesunięcia (symbol strzałki) |
|  |  | **Podpora przesuwna** (z możliwością przemieszczenia w kierunku nieistniejącej strzałki)<br>WYŻEJ odebrano 2 stopnie swobody:<br>– dwa przesunięcia (symbol strzałki).<br>NIŻEJ odebrano 3 stopnie swobody:<br>– dwa przesunięcia (symbol strzałki),<br>– obrót wokół osi belki. |

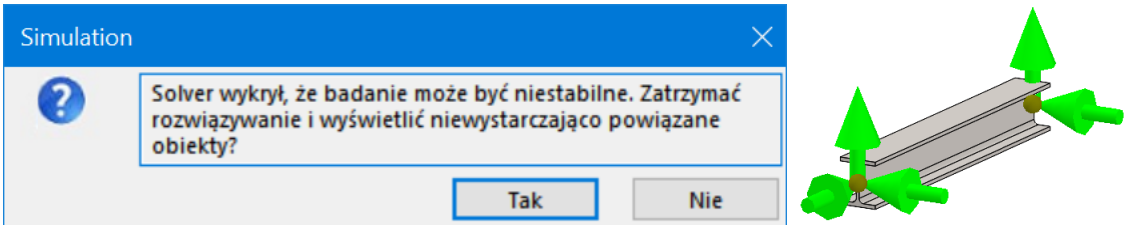
*Mocowanie, jakby się mogło wydawać "w punkcie", nie jest błędem. W trakcie definiowania mocowania program prezentuje model belki, natomiast mocowanie definiowane jest w połączeniu.*
*Taki sposób prezentacji ma wiele zalet – zawsze widzimy jaki profil jest obliczany, co może być istotne w konstrukcji z różnymi profilami jednocześnie (np. ceowniki, dwuteowniki, kątowniki itd.)*

Poniżej przedstawiono dwa przykłady definicji mocowania **Użyj geometrii odniesienia**. Z lewej odebrano możliwość przesunięcia w dwóch kierunkach a z prawej dodatkowo zablokowano obrót wokół osi belki.

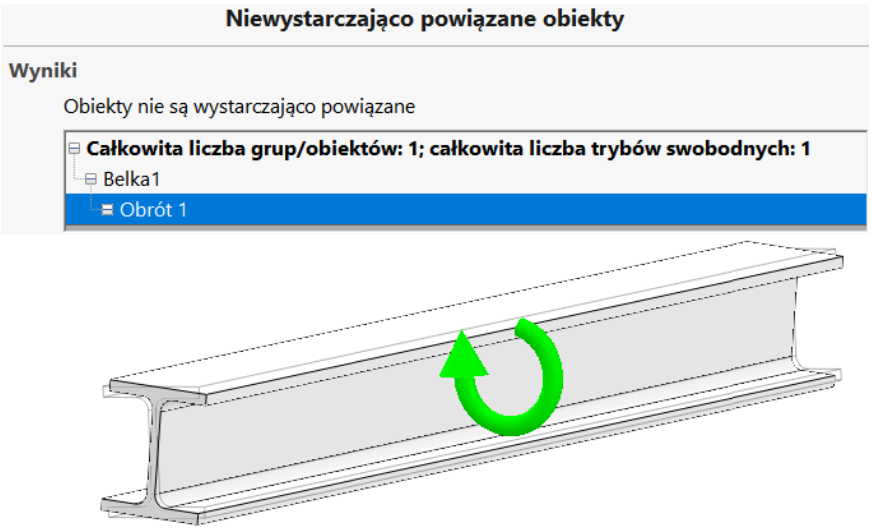



W przypadku występowania w belce podpór nieruchomej i przesuwnej należy w jednej z nich zablokować obrót wokół osi belki – model jest przestrzenny, w schemacie płaskim obrót ten nie występuje.

Poniżej zaprezentowano komunikat po rozpoczęciu obliczeń przy niedostatecznie zamocowanej belce (na jednym końcu podpora nieruchoma a na drugim podpora przesuwna – nie zablokowano obrotu):

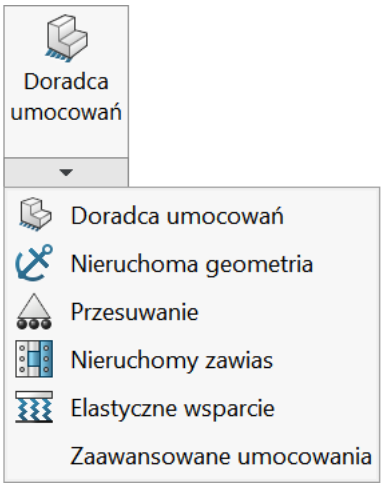

Simulation
Solver wykrył, że badanie może być niestabilne. Zatrzymać rozwiązywanie i wyświetlić niewystarczająco powiązane obiekty?
Tak
Nie

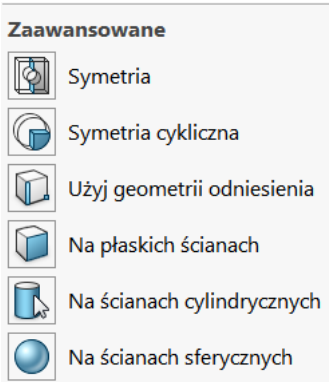
Po kliknięciu **Tak** w powyższym komunikacie:



## 1.5. Umocowanie w obliczeniach na siatce bryłowej

W siatce bryłowej dostępne są następujące umocowania:

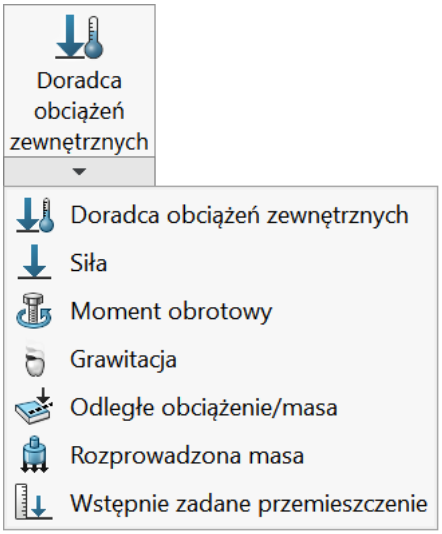


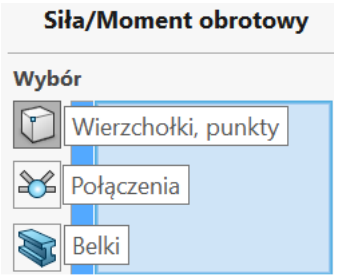

## 1.6. Definicja obciążenia

Od wyboru typu siatki uzależniona jest możliwość definiowania obciążenia modelu.

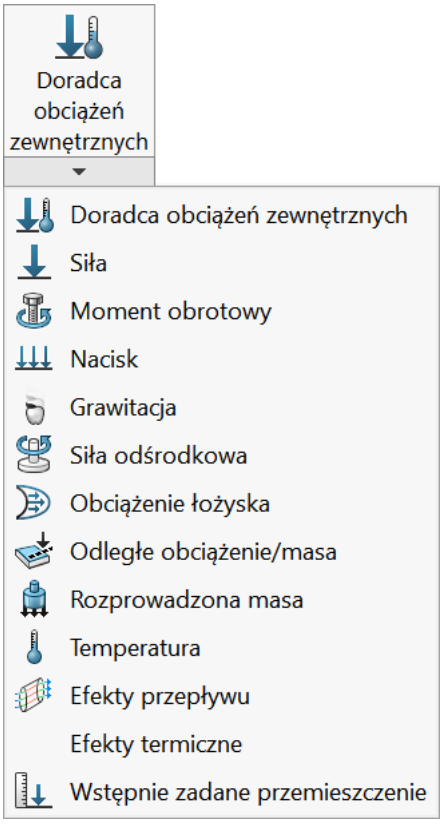
Siatka belkowa:




Po wybraniu **Siła** z powyższej listy:



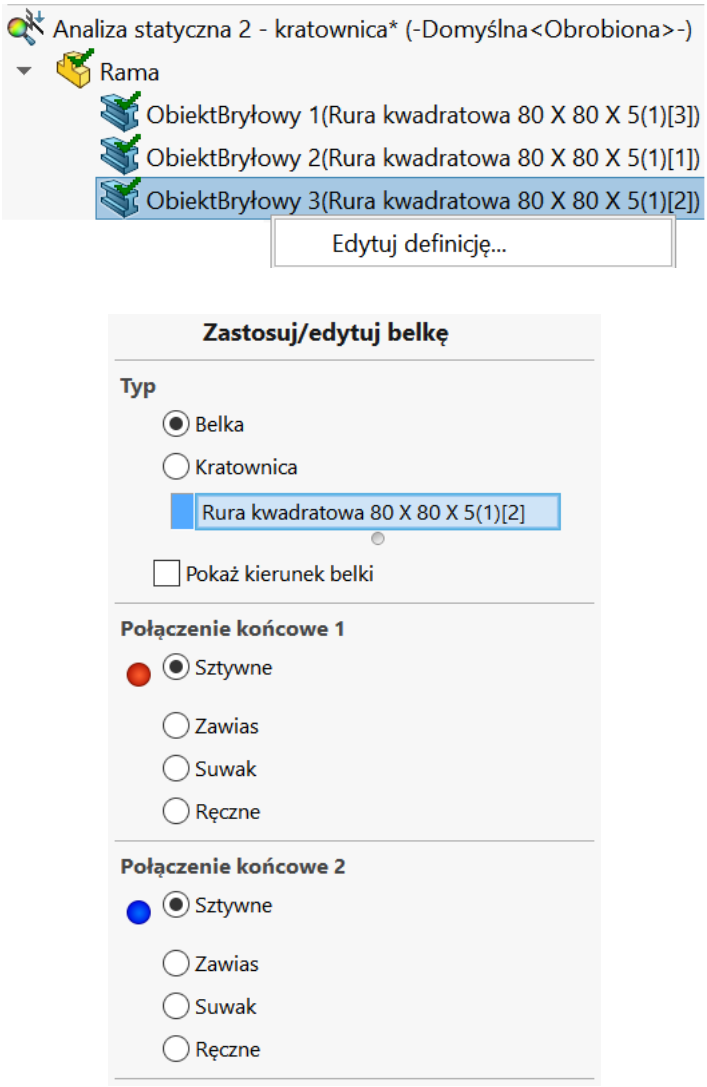

Siatka bryłowa:



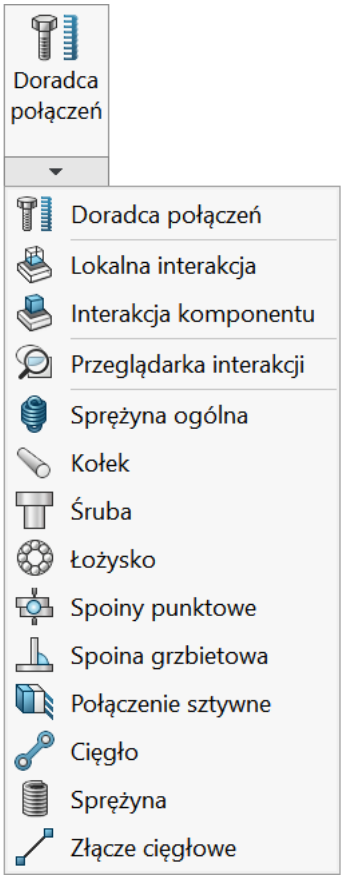
## 1.7. Definiowanie połączeń między elementami konstrukcji

Elementami konstrukcji mogą być komponenty w złożeniu, jak również bryły w modelu wielobryłowym.

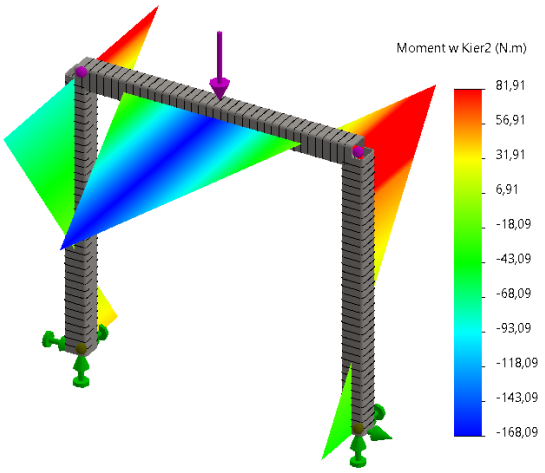
Siatka belkowa:

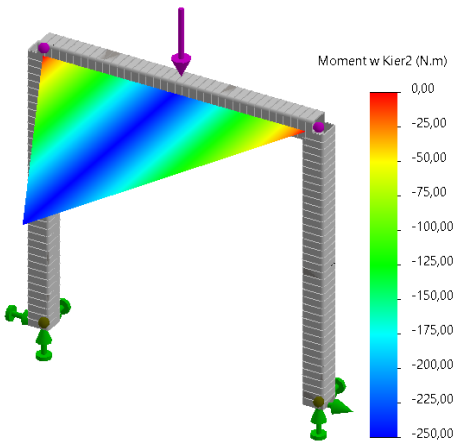



Siatka bryłowa:



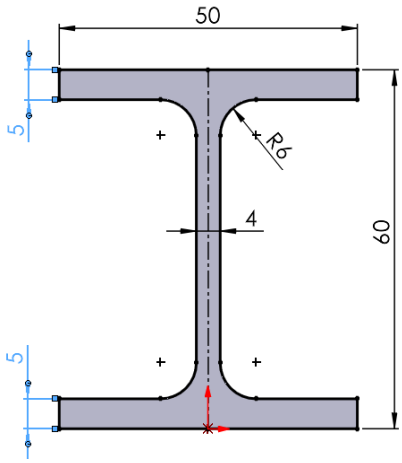

Poniżej przykład momentu gnącego (siatka belkowa). Z lewej sztywne połączenie prętów, z prawej zawiasy w połączeniach belek. Rama utwierdzona na dolnych końcach i obciążona siłą w środku belki.



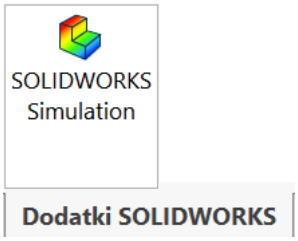
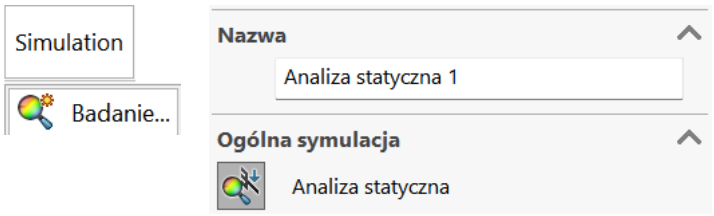
## 2. Obliczenia z zastosowaniem siatki belkowej

Przykład obliczeń zostanie wykonany w modelu Belka1 o poniższym przekroju (szkic narysowano – nie korzystano z konstrukcji spawanej):

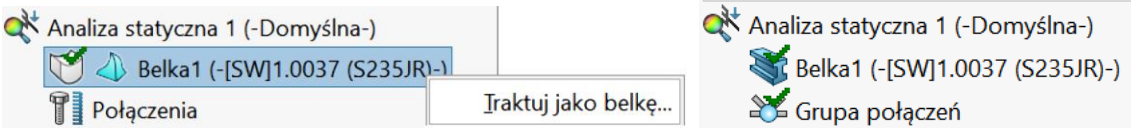



Parametry obliczeń:

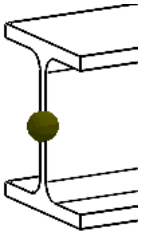
- materiał stal S235JS,
- długość belki 1000 mm,
- utwierdzenie na końcu belki,
- siła F=500 N na drugim końcu belki (zginająca w płaszczyźnie pionowej).

| Uruchamianie dodatku: | Tworzenie analizy i wybór typy analizy.<br>W przykładzie Analiza statyczna |
|---|---|
|  |  |

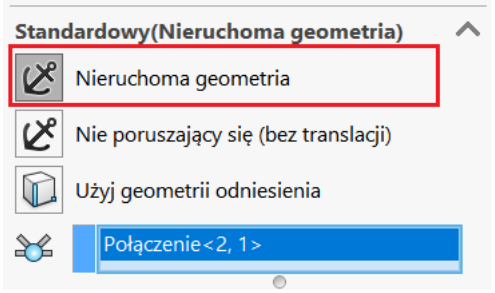
Poniżej przedstawiono zmianę typu siatki z bryłowej na belkową:

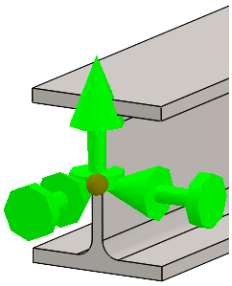



Po zmianie typu siatki na belkową na końcach belki zostały wyświetlona połączenia:

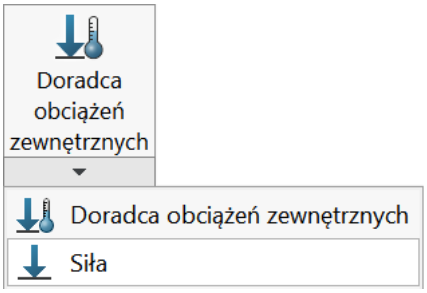


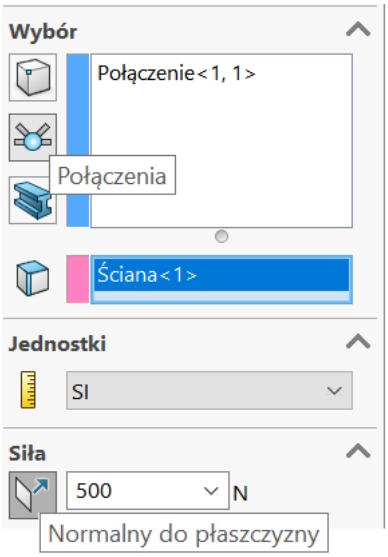
**W obliczanym przykładzie należy zastosować Utwierdzenie na jednym końcu belki:**

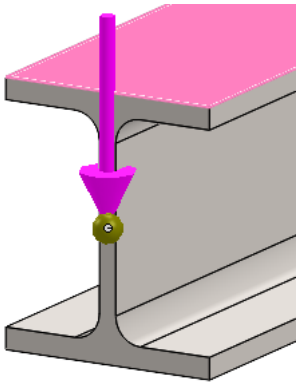


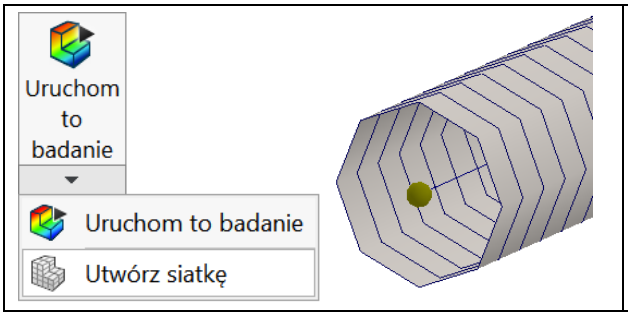
**Definicja obciążenia (na niepodpartym końcu belki):**

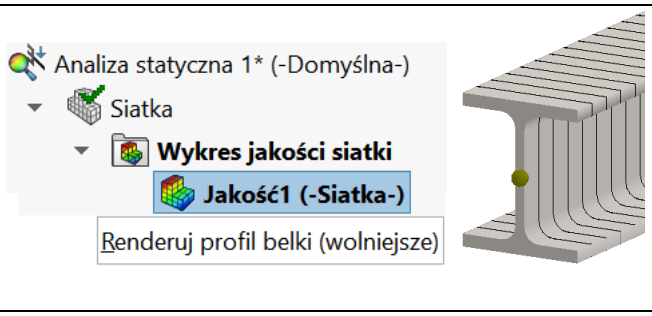


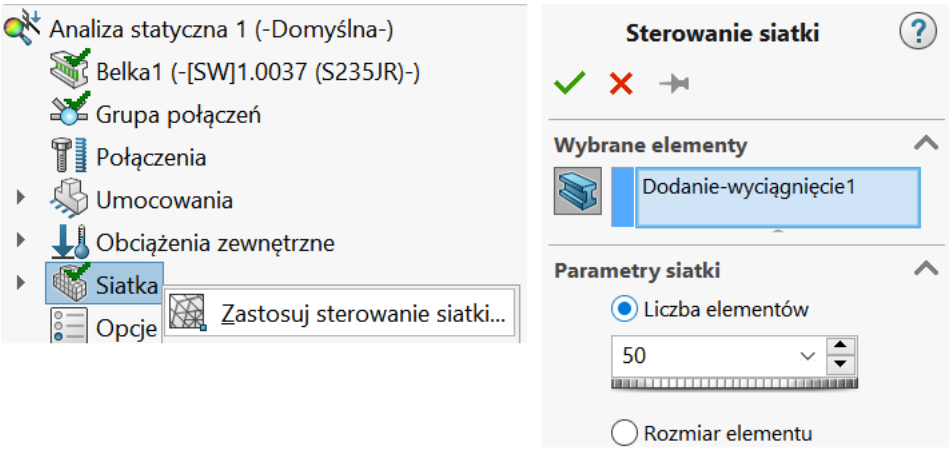
Tworzenie siatki oraz zmiana wyświetlania siatki:



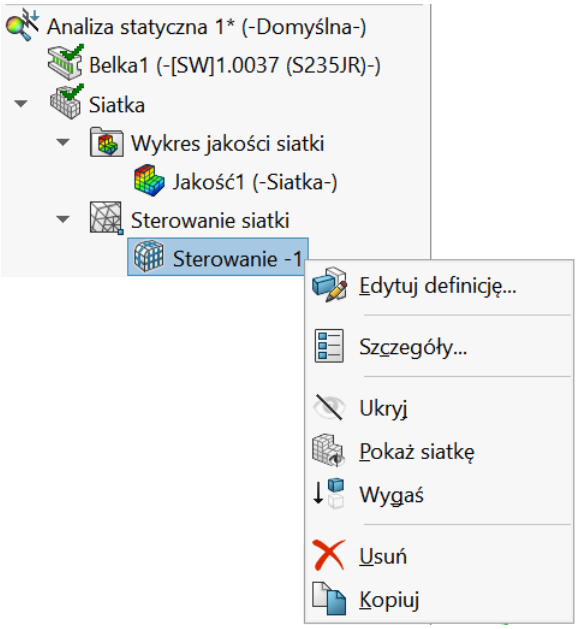

Powyższy sposób prezentacji siatki może zaskakiwać początkującego użytkownika, a nawet prowadzić do wyciągnięcia wniosku, że "niezależnie jaki mam profil i tak liczy rurę". Wyświetlenie "rury" po utworzeniu siatki nie oznacza, że program liczy przekrój rurowy. Siatka belkowa ma tylko jeden wymiar (nie posiada geometrii przekroju) – parametry przekroju są reprezentowane przez pole przekroju, moment bezwładności pola przekroju belki i wynikający z niego wskaźnik wytrzymałości przekroju na zginanie. Zmiana prezentacji siatki, umożliwiająca wyświetlenie geometrii przekroju, nie wpływa na obliczenia – pozwala jedynie użytkownikowi na zorientowanie się jaki kształt przekroju ma obliczana belka.

**Zmiana rozmiaru siatki (zagęszczenia siatki)**

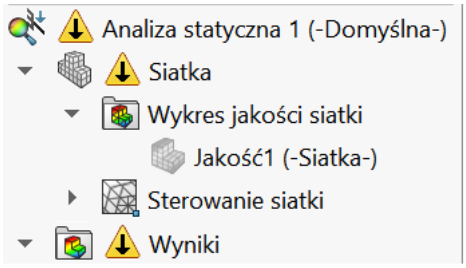



Poniżej przykłady różnej liczby elementów siatki (*po wprowadzeniu sterowania siatki należy siatkę ponownie utworzyć*):

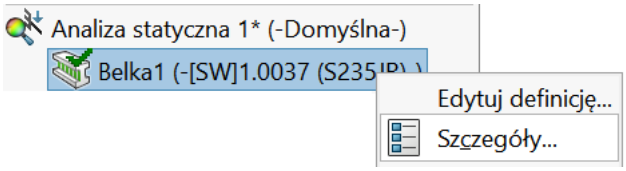
Po zastosowaniu sterowania siatki można zmienić (edytować) wprowadzone parametry lub usunąć sterowanie siatki – rysunek z prawej.



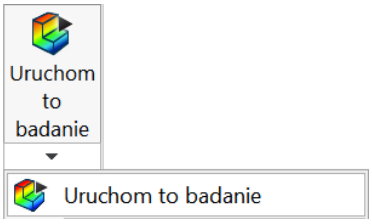

Poniżej przykład drzewa Simulation po zmianie parametrów siatki ale przed wykonaniem obliczeń:



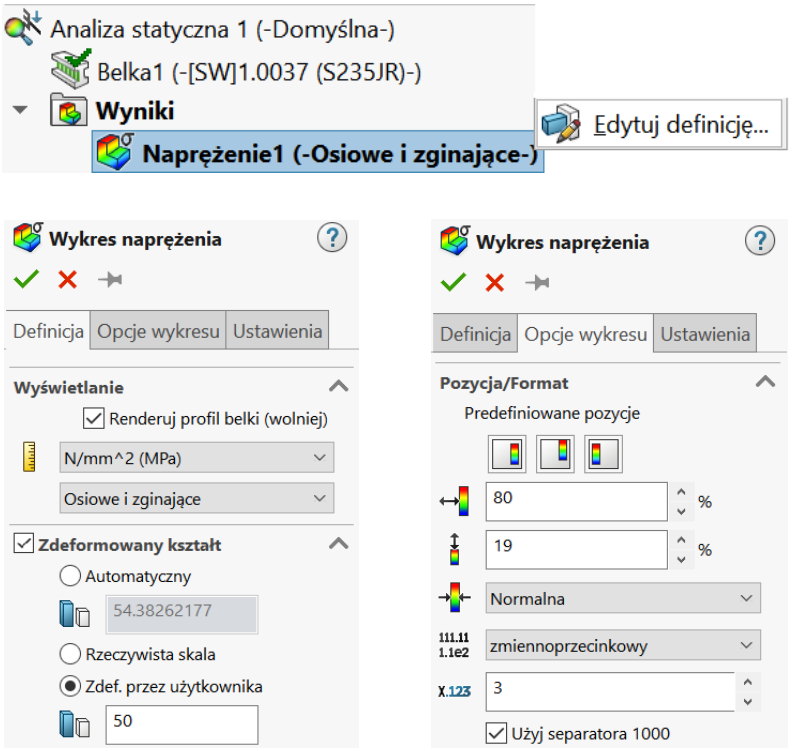

Poniższe polecenia pozwalają na sprawdzenie parametrów belki (Szczegóły) oraz definicję połączeń końców belki, w przypadku występowania więcej niż jednej belki (Edytuj definicję):



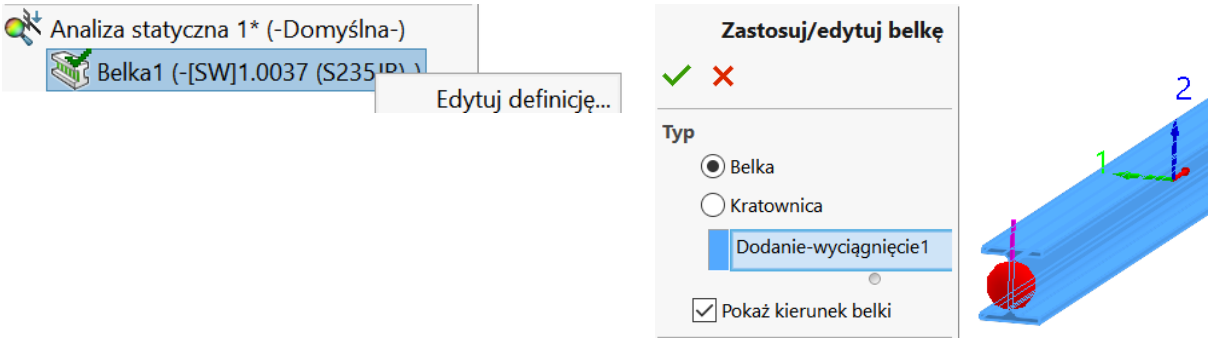

**Uruchamianie obliczeń**



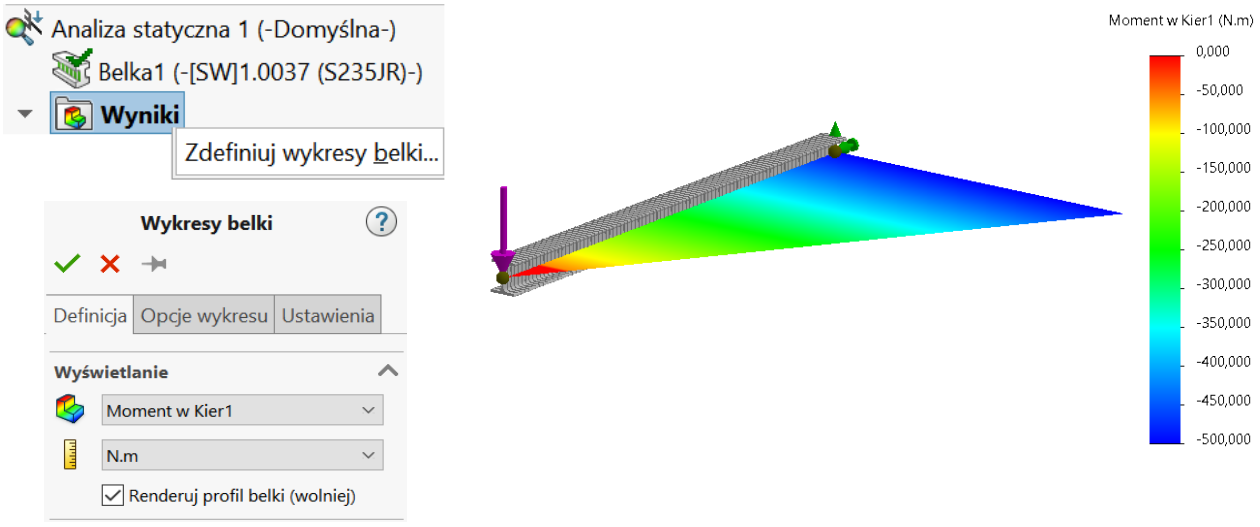
Po uzyskaniu wyników można zmienić sposób prezentacji wykresu:



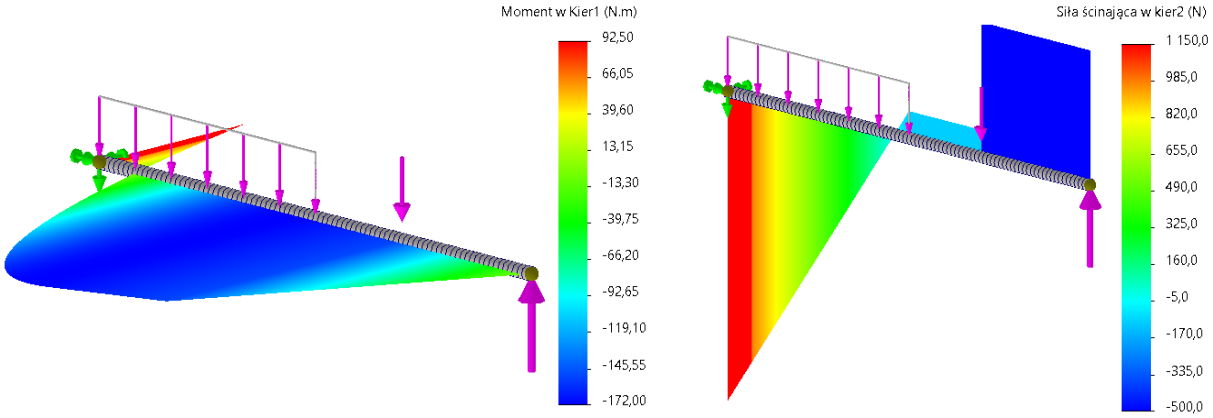

Sprawdzenie kierunków belki:




Dodawanie wykresu (*kierunek momentu gnącego należy wybierać zgodnie z regułą prawej dłoni – w tym przypadku Kierunek1*):

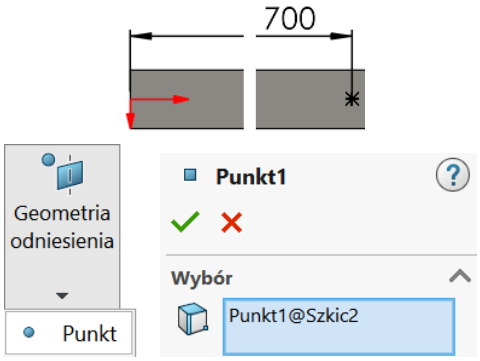


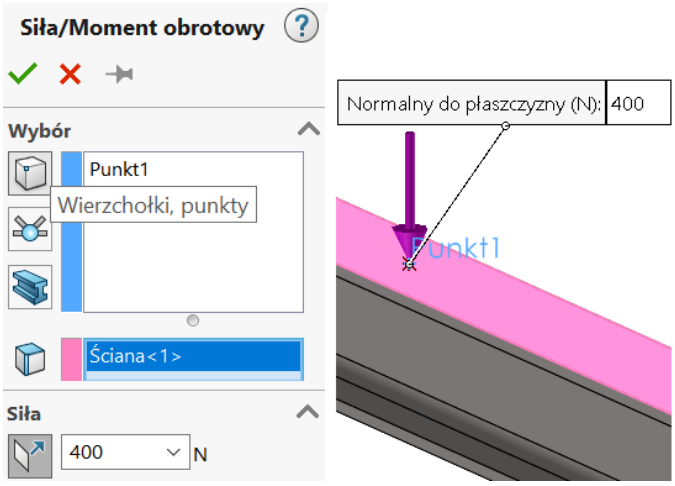
Poniżej przykład wykresu momentu gnącego i siły ścinającej w bardziej złożonym obciążeniu belki (*uproszczony, nierenderowany, widok belki*):



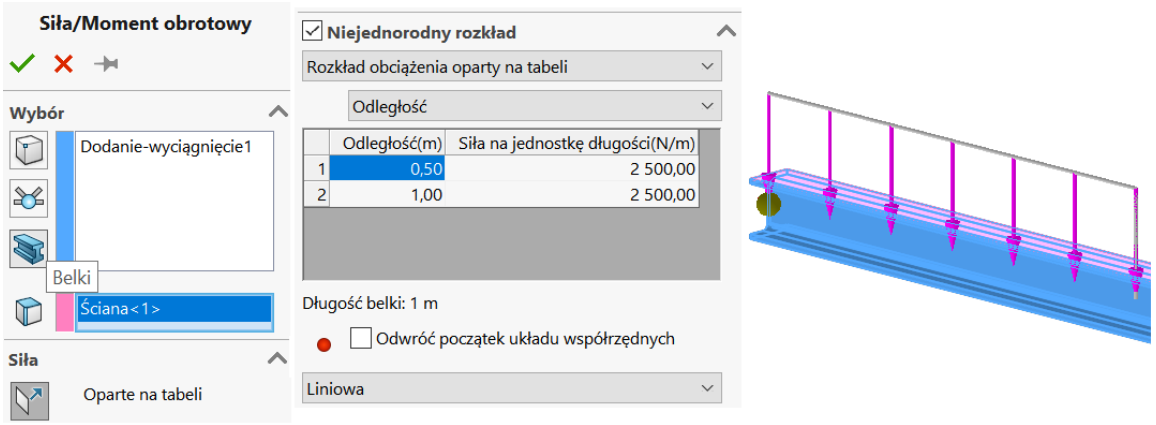

**Definicja punktu przyłożenia drugiej siły**

- szkic na ścianie belki, zawierający punkt;
- punkt geometrii odniesienia;
- definicja siły w Simulation.




Definicja obciążenia ciągłego:

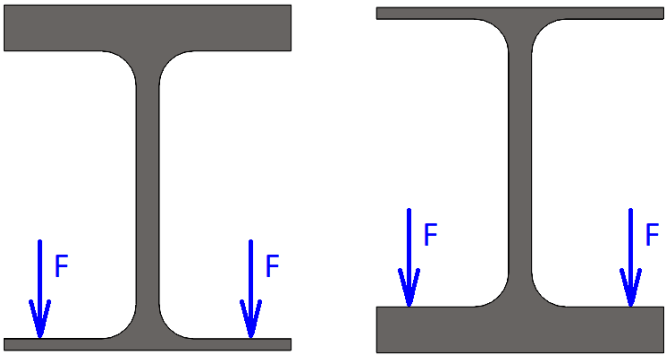


**Czy belkę (konstrukcja spawana) zawsze należy liczyć stosując siatkę belkową (MES)?**

(na zasadzie skojarzenia: w konstrukcji belka → w obliczeniach siatka belkowa)

**PYTANIE:**

Czy w przypadku przyłożenia sił jak w poniższych dwóch przypadkach (ten sam przekrój belki), zastosowanie siatki belkowej będzie poprawne?




Poniżej właściwości przekroju belki:

Właściwości przekroju wybranej ściany Belka1

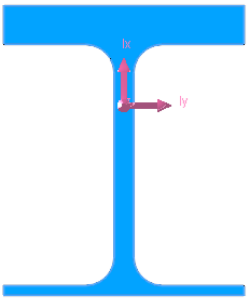
Obszar = 7.31 centymetry^2

Centroid względny do wyjściowego początku układu współrzędnych: ( centymetry )

X = 0.00
Y = 3.93
Z = 0.00

Moment główny bezwładności obszaru w centroidzie: ( centymetry ^ 4 )

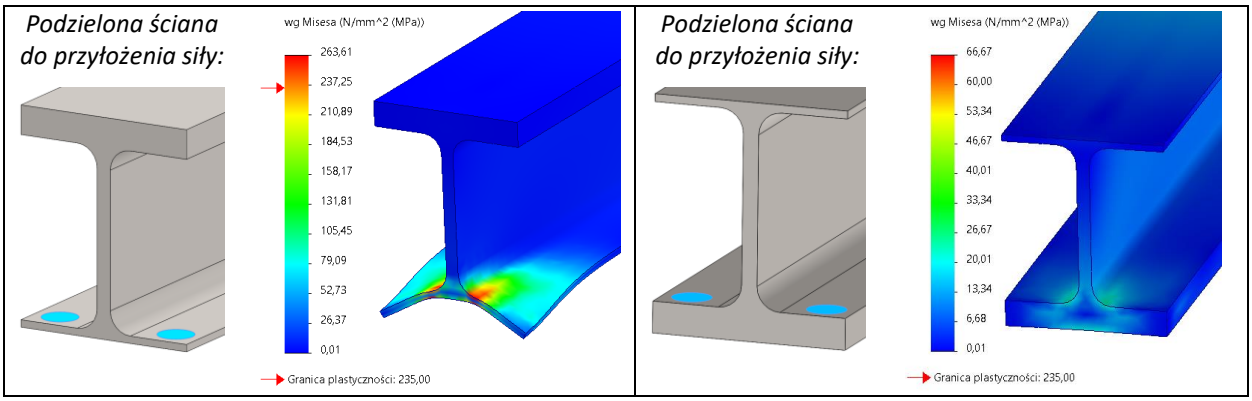
Ix = 10.48
Iy = 35.43




**ODPOWIEDŹ**:

Obliczenia z zastosowaniem siatki belkowej nie są wystarczające w/w przypadkach. Siatka belkowa nie posiada geometrii przekroju i z tego względu nie można przyłożyć siły w wybranym punkcie przekroju – **należy zastosować siatkę bryłową**.

Poniżej przykłady wyników (siatka bryłowa) – pokazano fragment belki.

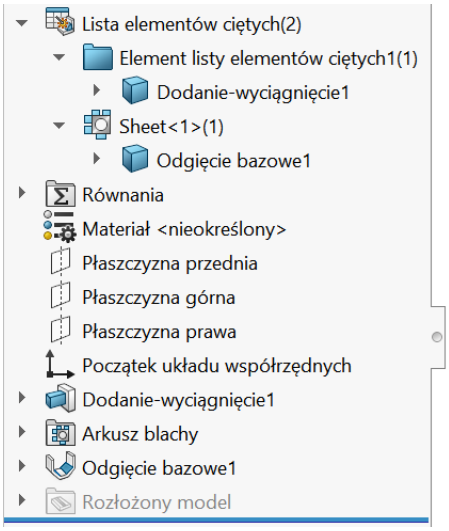


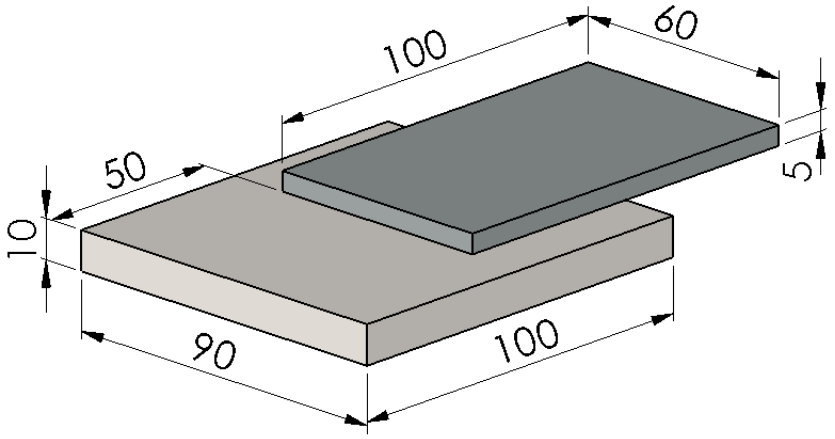
# 3. Model wielobryłowy

Model poniższy został wykonany jako część wieloobiektowa (wielobryłowa).

Dolna płyta została wykonana jako wyciągnięcie a górna jako blacha.

Dwie płyty nie stanowią jednej bryły i zostaną zespawane (spawy zostaną dodane poniżej).

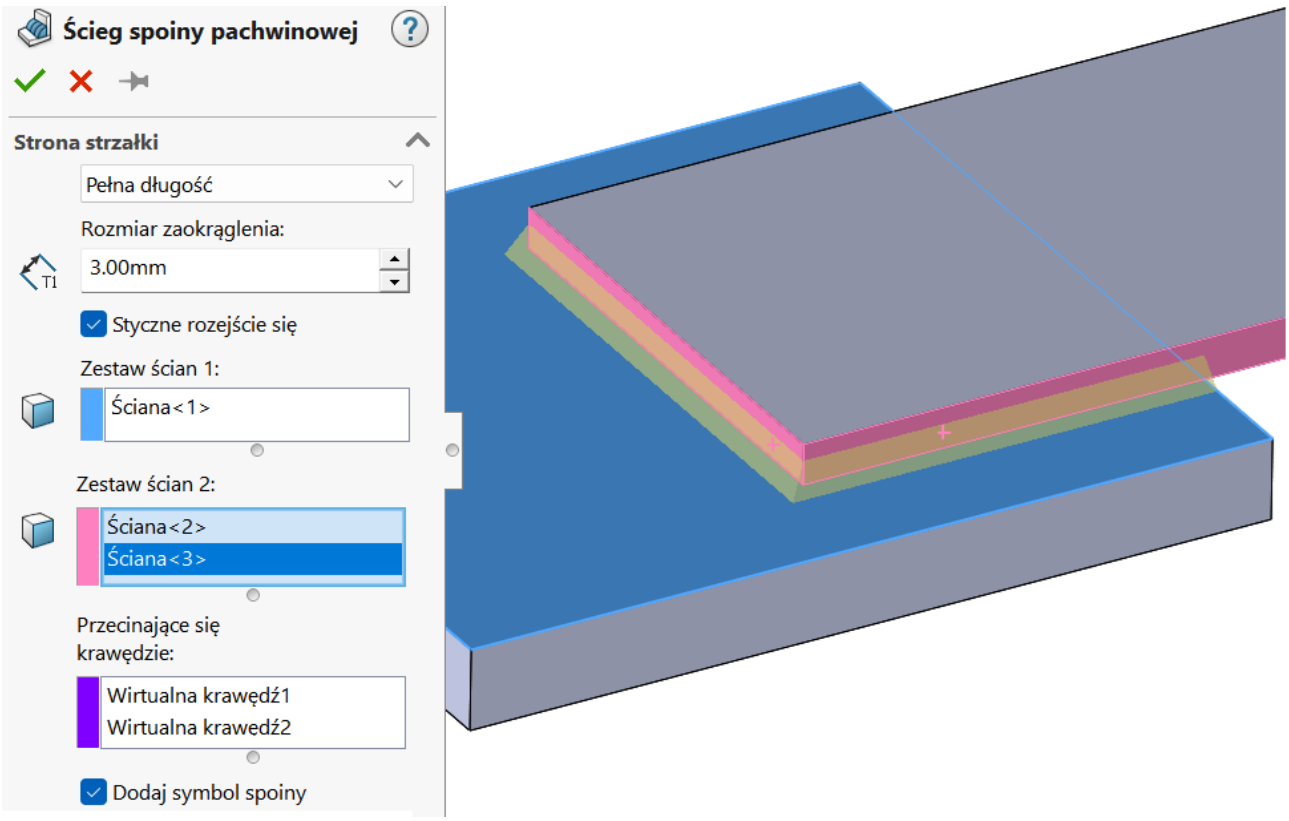



## 3.1. Dodawanie połączeń spawanych

Z menu Wstaw > Konstrukcje spawane > Ścieg spoiny pachwinowej

*Celowo zespawano tylko z dwóch stron, żeby lepiej pokazać wpływ doboru interakcji.*

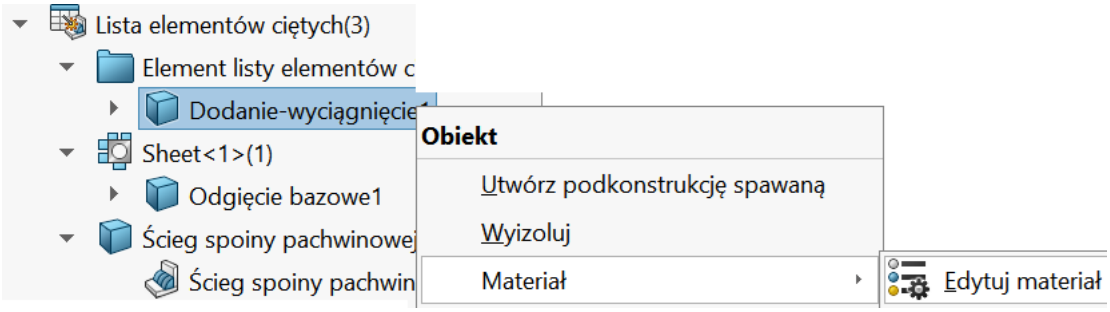


## 3.2. Materiał

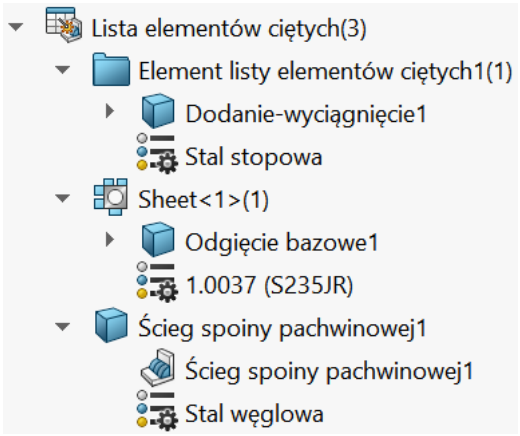
Materiał może zostać dodany na etapie modelowania (zaprezentowane poniżej) lub później na etapie obliczeń (nie pokazano w opracowaniu). Każda bryła może mieć inny materiał.

Poniżej definiowanie materiału dla całej konstrukcji:

Poniżej definiowanie materiału dla każdej bryły:

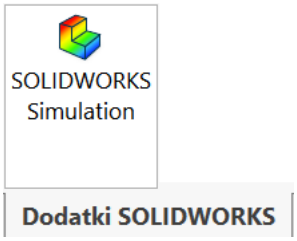



Przykład różnych materiałów:

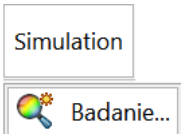


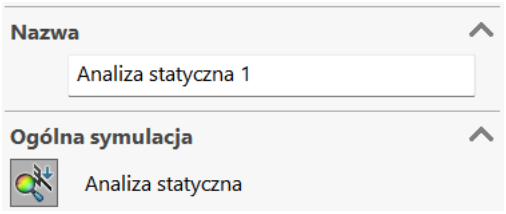

## 3.3. Uruchamianie analizy wytrzymałościowej

Uruchamianie dodatku:



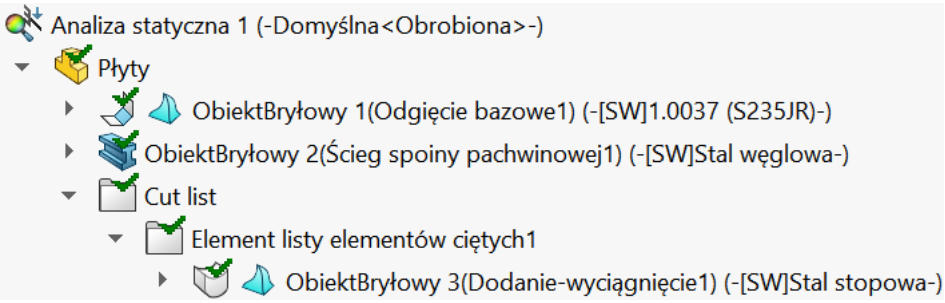

Tworzenie analizy i wybór typy analizy:



## 3.4. Pierwsze kroki po utworzeniu analizy wytrzymałościowej

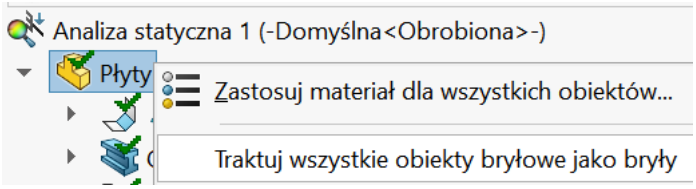
Poniżej fragment drzewa analizy wytrzymałościowej:



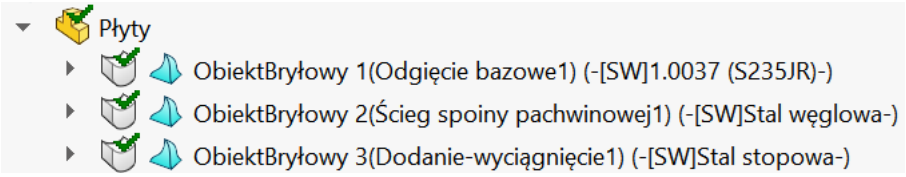

Na rysunku powyżej:

- Obiekt bryłowy 1 – siatka skorupy (powłokowa), *model wykonany jako arkusz blachy*,
- Obiekt bryłowy 2 – siatka belki, *ścieg spoiny pachwinowej*,
- Obiekt bryłowy 3 – siatka bryłowa, *model wykonany wyciągnięciem*.

Zalecam zamianę typów siatki na siatkę bryłową (w tym przypadku):


Analiza statyczna 1 (-Domyślna<Obrobiona>-)
Płyty
Zastosuj materiał dla wszystkich obiektów...
Traktuj wszystkie obiekty bryłowe jako bryły

Poniżej bryły po skasowaniu folderu **Cut list** i zamianie na bryły:

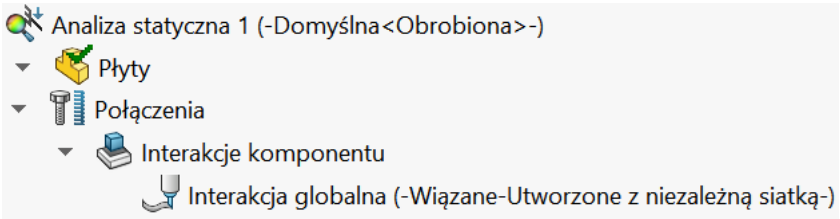

Płyty
ObiektBryłowy 1(Odgięcie bazowe1) (-[SW]1.0037 (S235JR)-)
ObiektBryłowy 2(Ścieg spoiny pachwinowej1) (-[SW]Stal węglowa-)
ObiektBryłowy 3(Dodanie-wyciągnięcie1) (-[SW]Stal stopowa-)

## 3.5. Interakcje

Interakcja to sposób oddziaływania jednej bryły na drugą.

### *3.5.1. Interakcja globalna*

Domyślna interakcja:




Rodzaje interakcji:

- Wiązane – dotykające się ściany łączą się w jedną całość, np. między bryłą spawu a bryłą połączoną przez spaw,
- Kontakt – dotykające się ściany mogą zostać rozłączone, pojawia się reakcja, gdy siła powoduje nacisk jednej bryły na drugą,
- Swobodne – bryły nie oddziałują na siebie, nawet gdy w wyniku odkształcenia jedna bryła zacznie przenikać drugą.

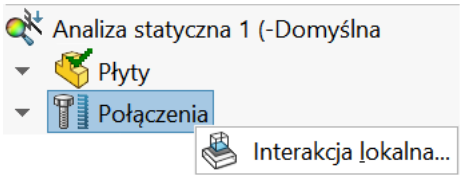
W obliczanej konstrukcji pozostawiono Interakcję globalną: Wiązane – co pozwoli na powiązanie spawów z płytami. Jednak płyty również będą powiązane ze sobą – należy dodać interakcję lokalną (poniżej).

### *3.5.2. Interakcja lokalna*

Na tym etapie konstrukcja byłaby liczona jak jedna bryła. Należy dodać między płytami interakcję lokalną **Kontakt**, która umożliwi wzajemne przemieszczanie się płyt.

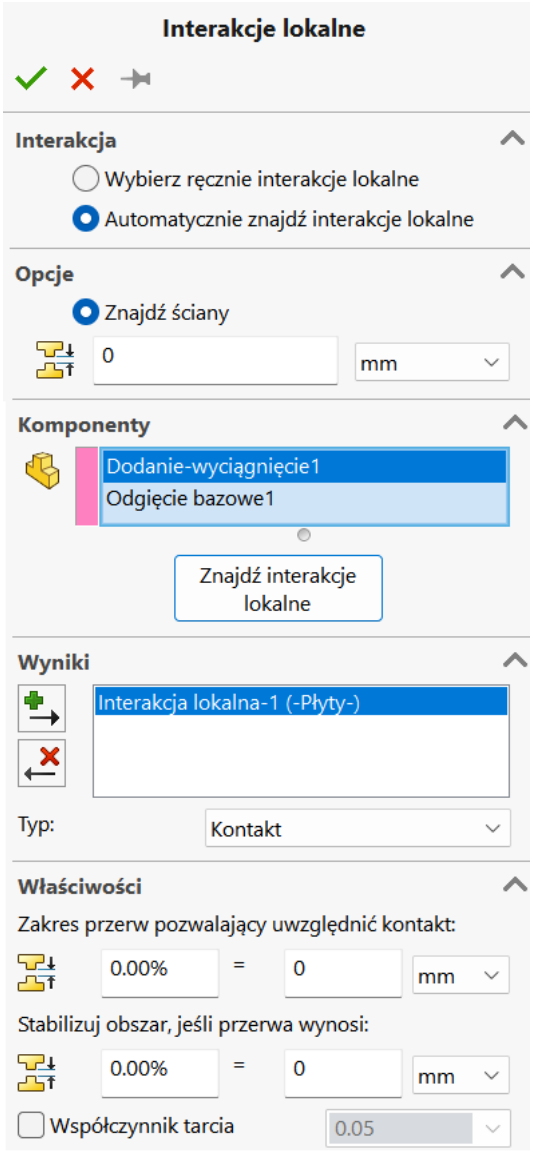
Inaczej ujmując, gdyby pozostała tylko interakcja globalna **Wiązane**, do zespolenia elementów konstrukcji spawy byłyby zbędne.

Definiowanie nowej interakcji lokalnej:




Etapy tworzenia interakcji lokalnej (jeden ze sposobów):

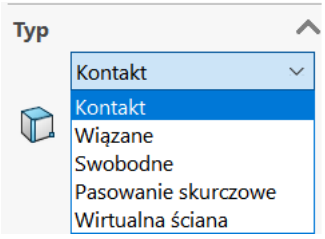
- **Automatycznie znajdź interakcje lokalne**,
- Zaznaczyć dwie płyty,
- Typ: Kontakt,
- Kliknąć : Znajdź interakcje lokalne,
- Wpisać właściwości (nie zawsze 0),
- Dodać interakcję klikając
- Kliknięcie oznacza usunięcie proponowanej interakcji.




*Zakres przerw:*
*odległość pozwalająca rozszerzyć interakcję na przylegający obszar o wskazaną odległość.*

*Metoda **Wybierz ręcznie interakcje lokalne** wymaga wyboru przez użytkownika odpowiednich powierzchni.*

Dostępne są poniższe typy interakcji lokalnej:

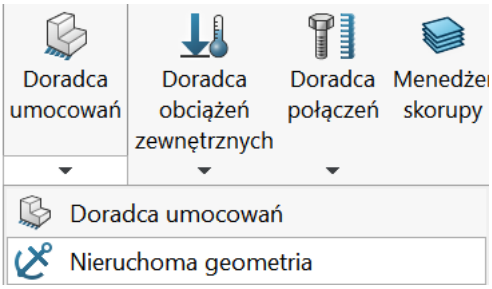


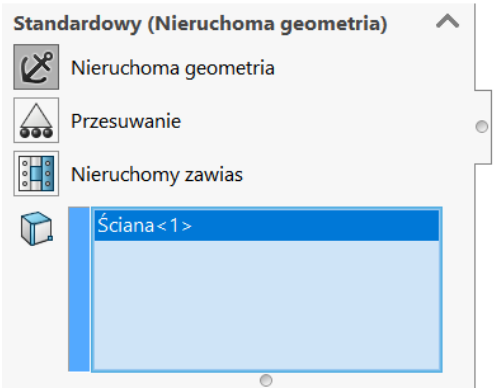

*Interakcje lokalne niewystępujące w interakcji globalnej (niezastosowane w przykładzie):*

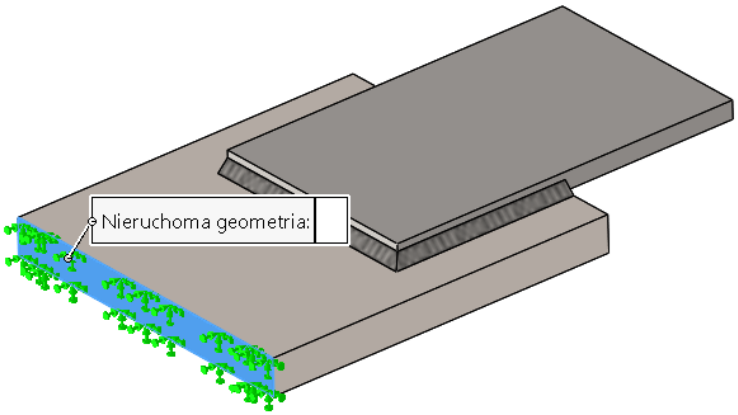
- ***Pasowanie skurczowe**: w przypadku gdy sworzeń o większej średnicy pasowany jest w otworze o średnicy mniejszej,*
- ***Wirtualna ściana**: konieczna przy definicji śrub fundamentowych, odzwierciedla oddziaływanie podłoża na elementy konstrukcji, np. gdy konstrukcja opiera się na betonowej posadzce, do której przymocowana jest śrubami.*

## 3.6. Mocowanie i obciążenie

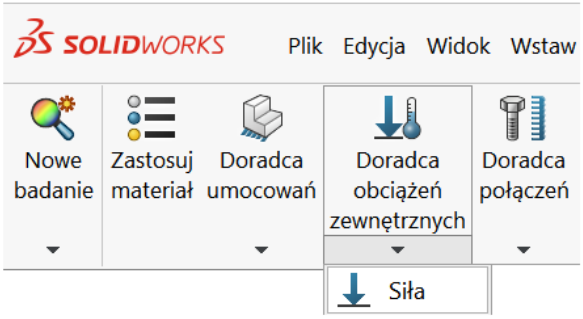
Mocowanie **Nieruchoma geometria**:

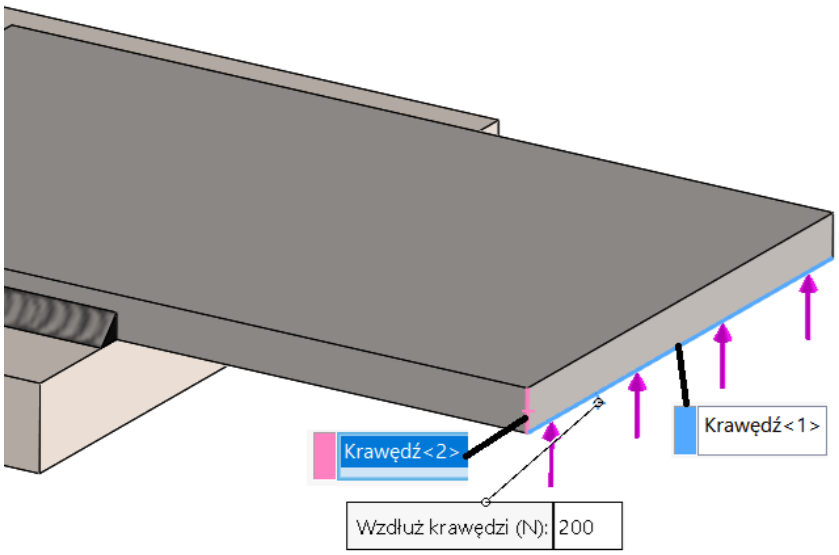


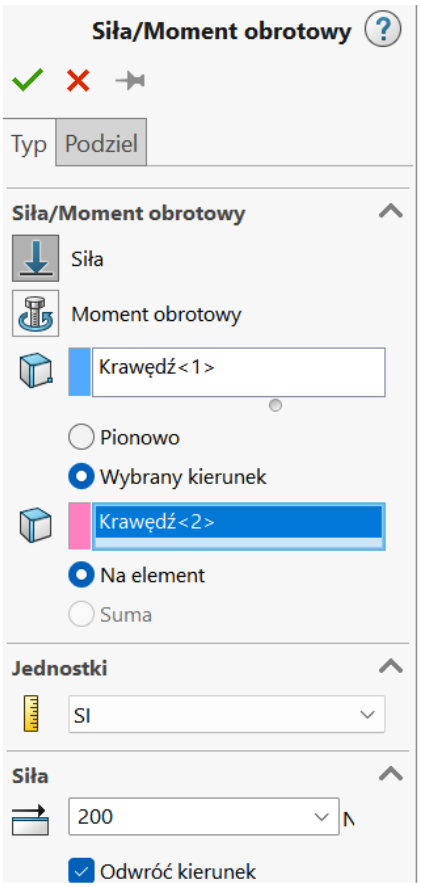




**Siła** obciążająca krawędź:



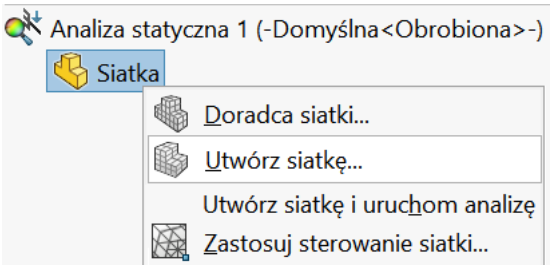



## 3.7. Siatka

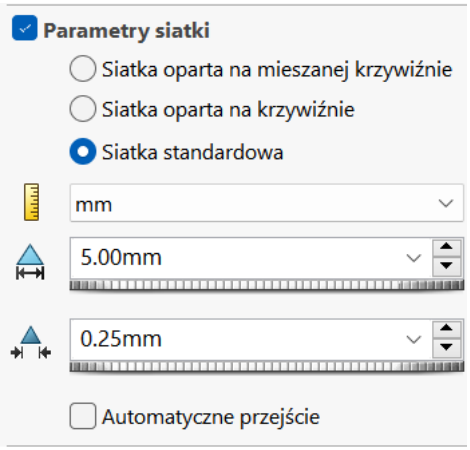
### *3.7.1. Siatka globalna*

Polecenie z paska Simulation:

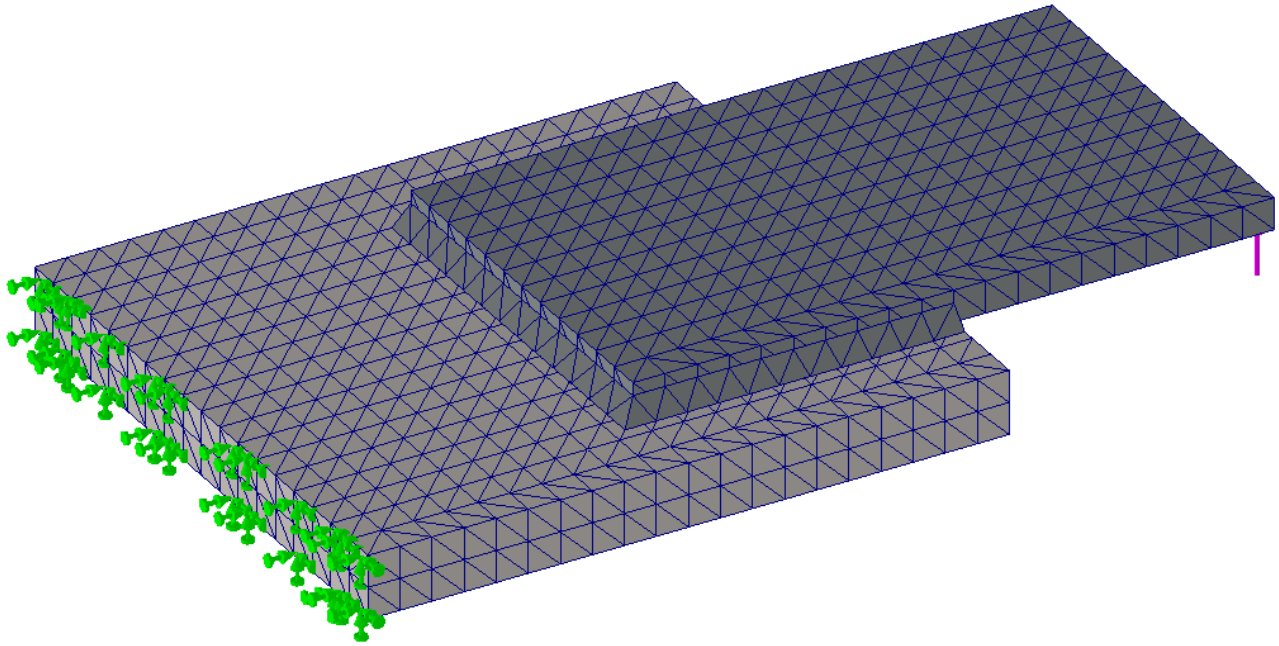
lub polecenie z menu podręcznego w drzewie Simulation:



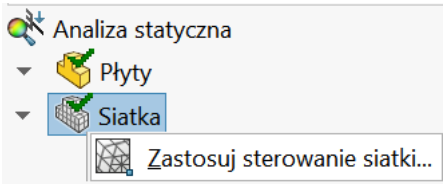

Przykład parametrów siatki (siatka standardowa):

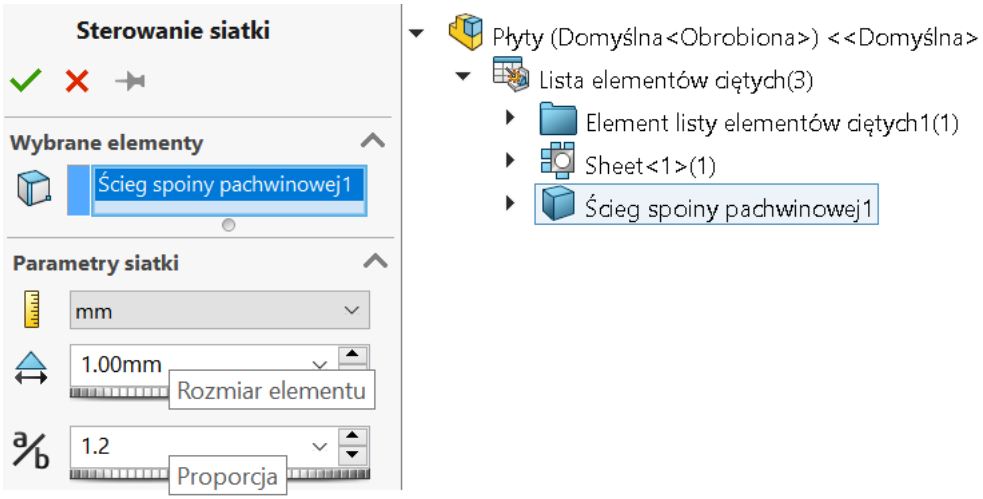



Utworzona siatka:



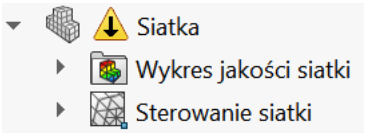
### *3.7.2. Lokalne zagęszczenie siatki*



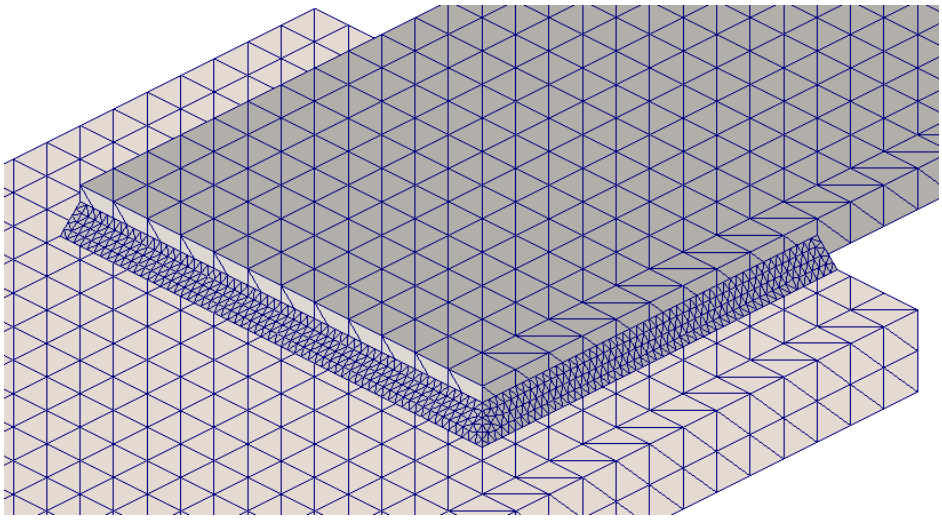




Powyższe parametry sterowania zależą od zastosowanego algorytmu tworzenia siatki globalnej, tzn. od wyboru algorytmu: siatka standardowa, siatka oparta na krzywiźnie, siatka oparta na mieszanej krzywiźnie.

Poniższe ostrzeżenie oznacza, że siatkę należy przeliczyć ponownie:

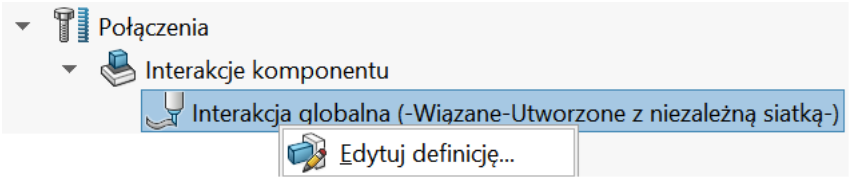



Poniżej przykład siatki po ponownym utworzeniu:

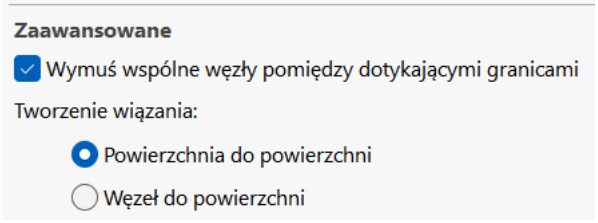


Na powyższym rysunku można zauważyć, że siatka spawu i siatka płyty nie mają wspólnych węzłów.

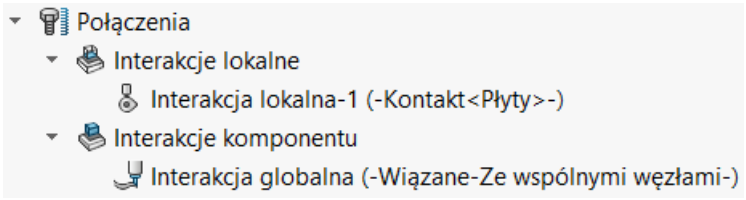
Zmiana właściwości interakcji globalnej:

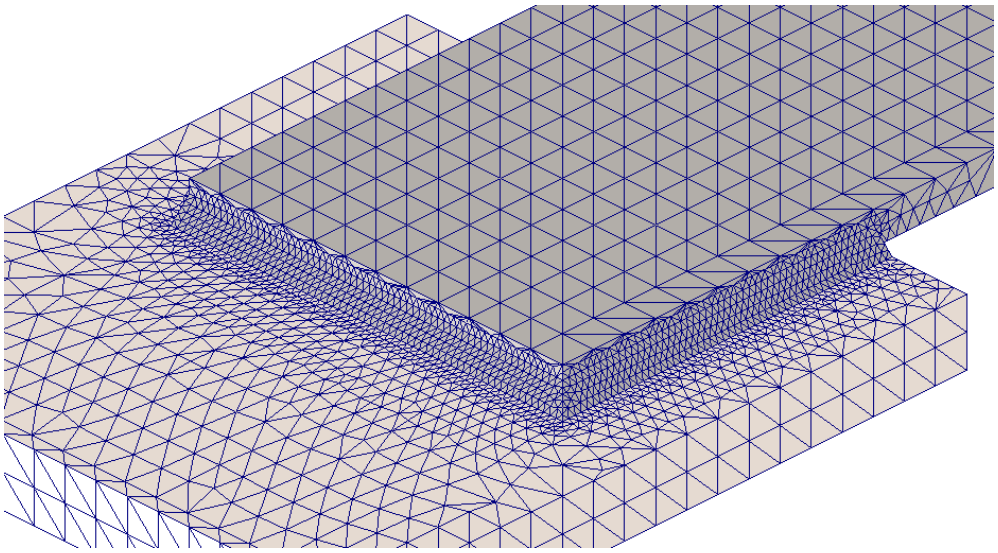



w wyświetlonych właściwościach:



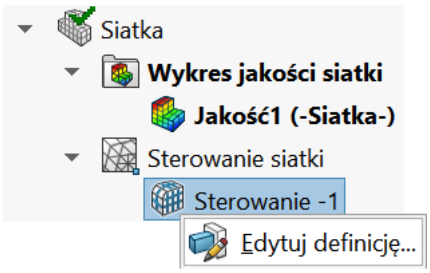

Połączenia i siatka po kolejnym utworzeniu:

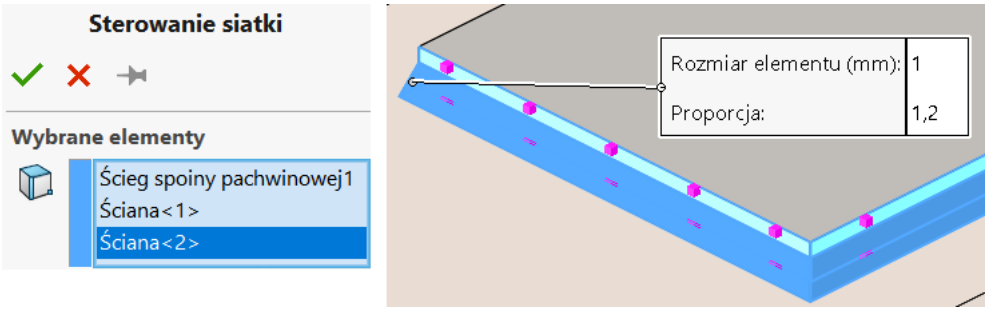


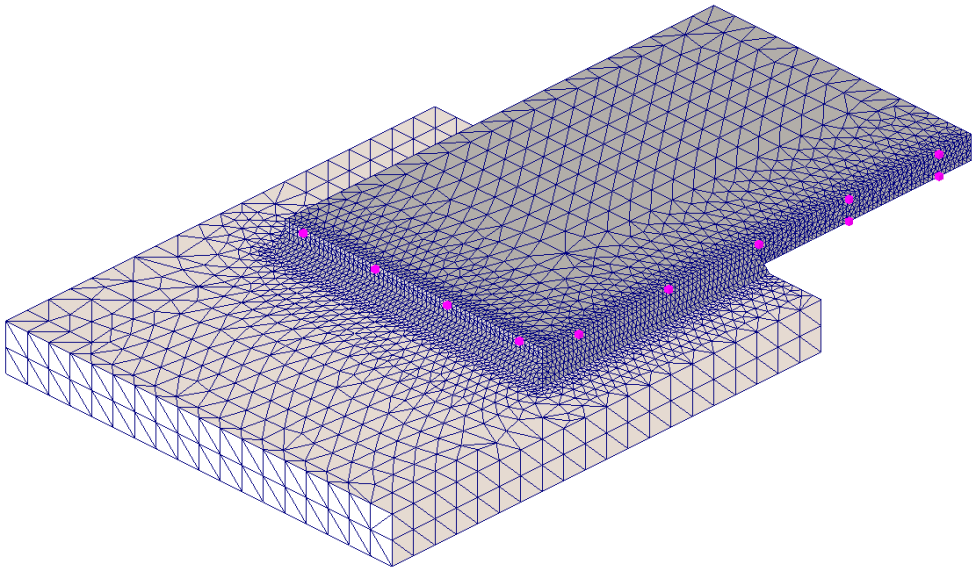
Teraz siatka spawu i siatka płyty mają wspólne węzły.

Istnieje możliwość edycji zdefiniowanego sterowania siatki. Poniżej przykład dodania ścian do wyboru elementów na których ma zostać zagęszczona siatka.

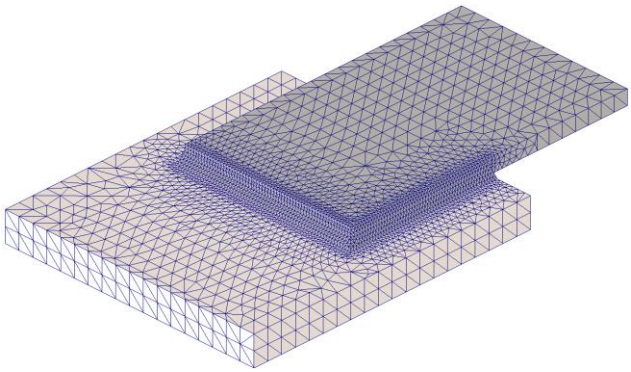


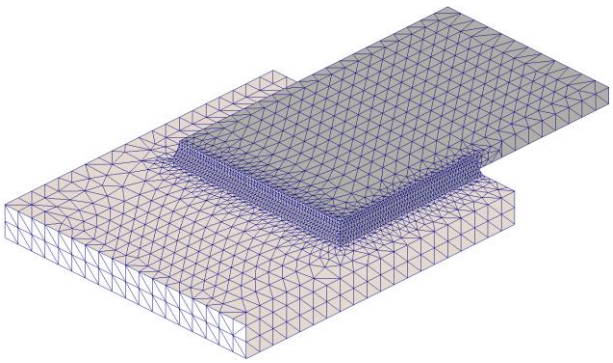




Poniżej przykład siatki po ponownym przeliczeniu:



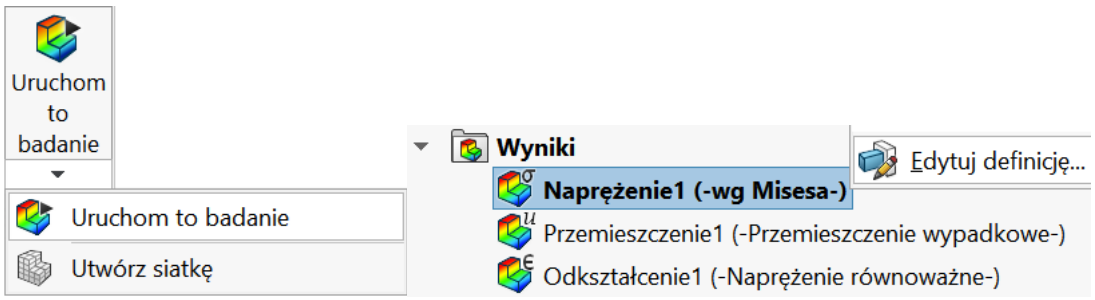
*Powyżej pokazano przykład zagęszczenia siatki, w którym zagęszczono siatkę na ścianie odległej od spawu. W celu ograniczenia zagęszczania w obszarach, które tego nie wymagają można stosować podział ścian, jak w przykładzie poniżej z lewej. Zmiana proporcji np. na 1,6 powoduje szybsze przyrastanie rozmiaru elementu skończonego (przykład z prawej).*



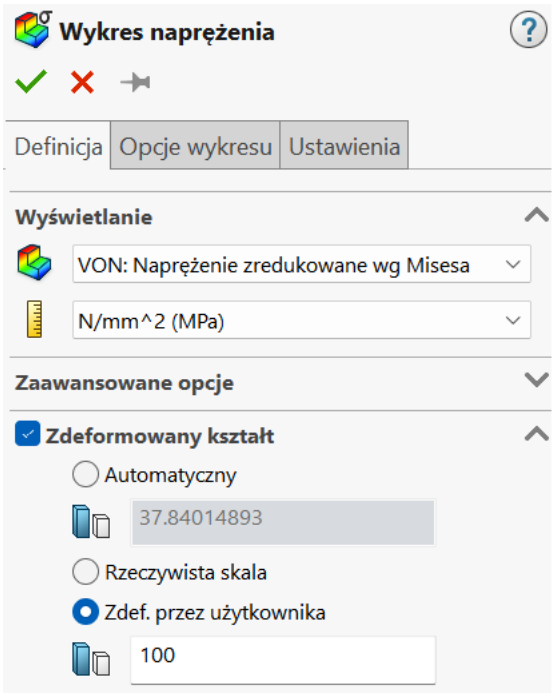


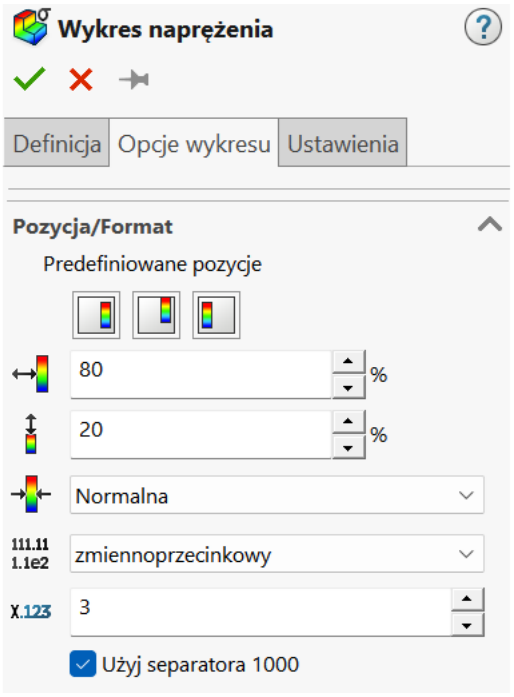
## 3.8. Wyniki obliczeń

Poniżej edycja domyślnego wykresu uzyskanego po uruchomieniu obliczeń:

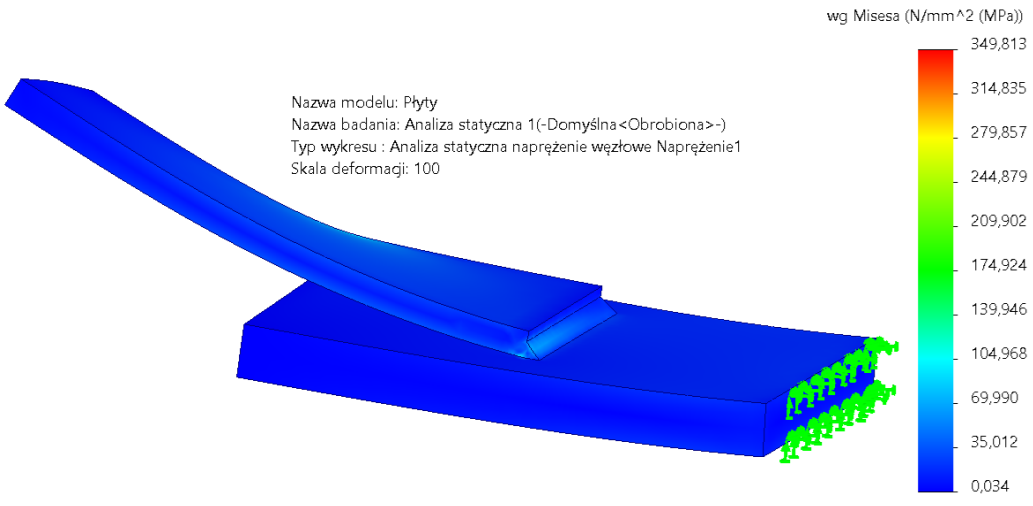



Poniżej przykłady zmiany wykresu:

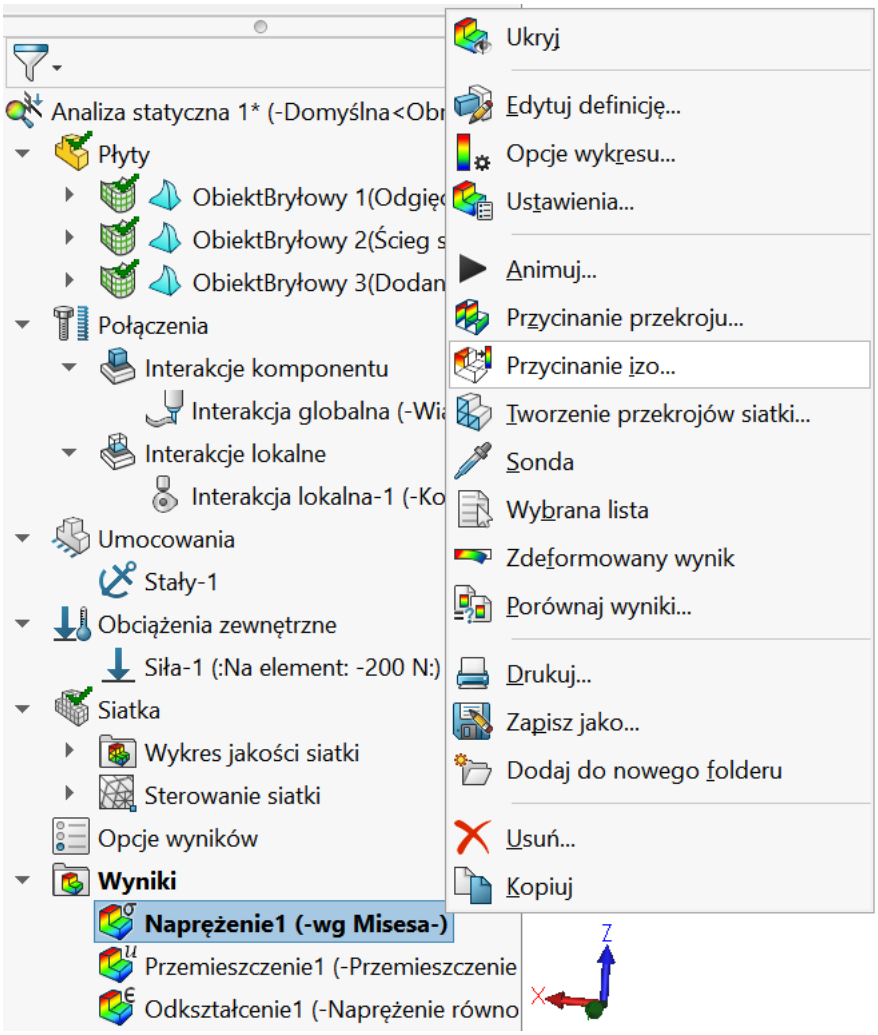


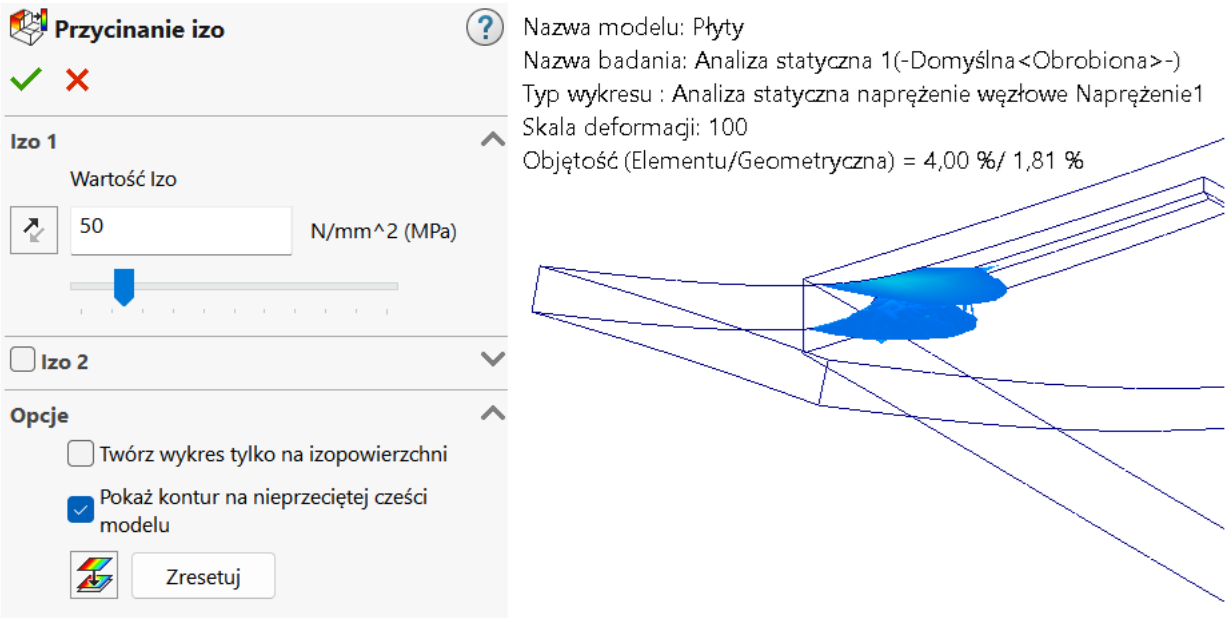

Poniżej przykład wyników (deformacja w skali 100, dzięki czemu widać odsunięcie płyty dolnej ze względu na brak spawu z jednej strony). Na wykresie nie zaznaczono granicy plastyczności ze względu na występowanie różnych materiałów:



Polecenia dostępne po kliknięciu prawym przyciskiem w wykres:




Przykład przycinania IZO (wyświetlenie wartości powyżej lub poniżej wpisanej wartości):

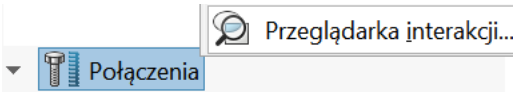


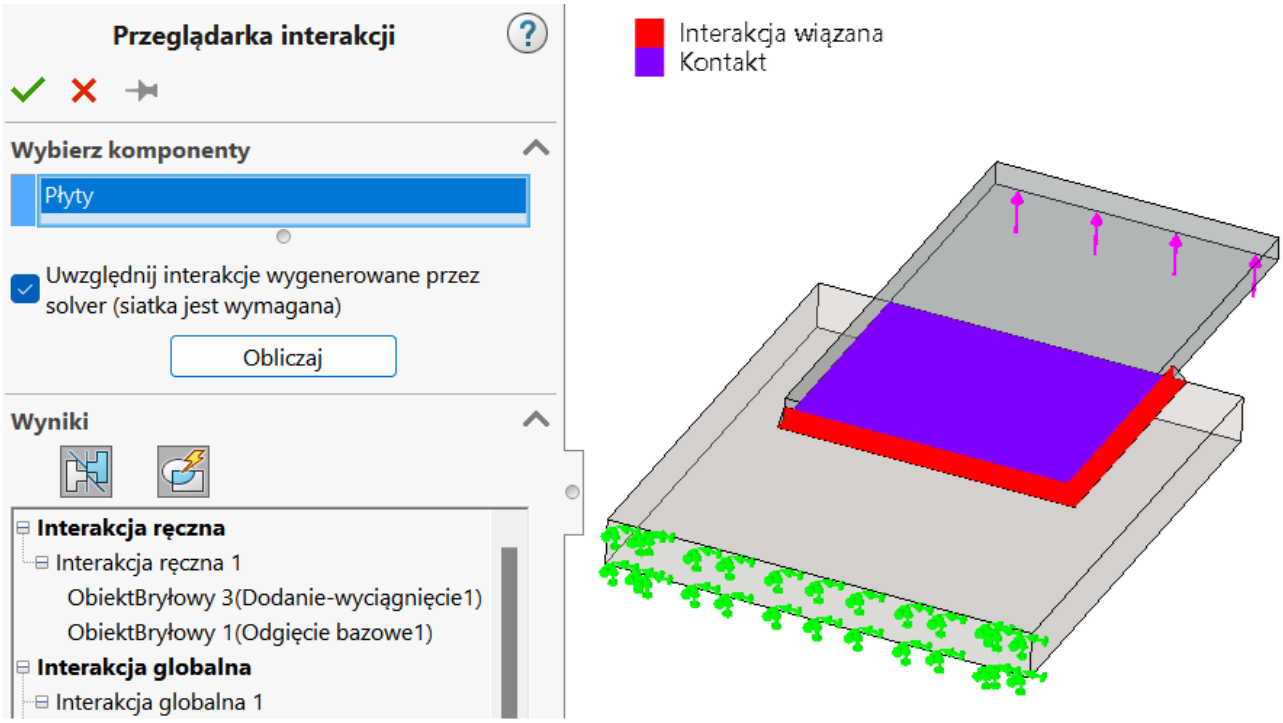

Nie wystarczy porównanie wartości maksymalnych naprężeń z granicą plastyczności.
Warto ocenić wynik, przynajmniej przez przycinanie IZO.

## 3.9. Wybrane metody oceny modelu obliczeniowego oraz wyników

### *3.9.1. Przeglądarka interakcji*

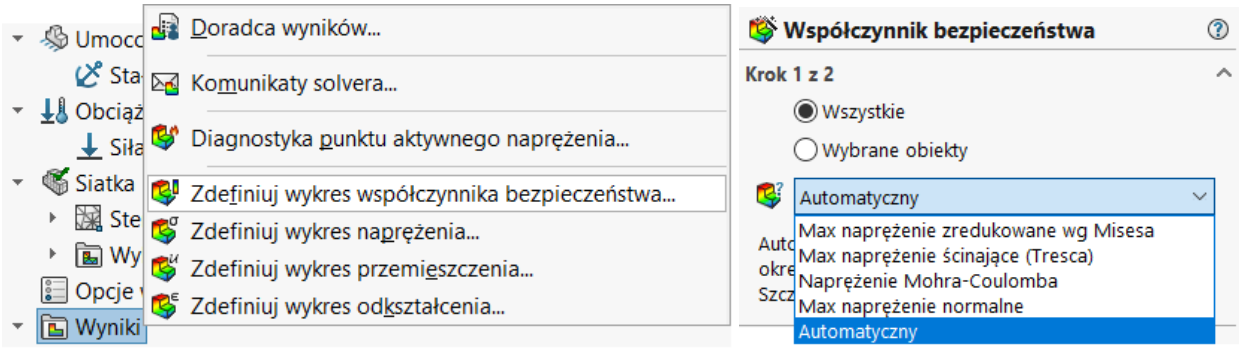
Narzędzie pozwalające na ocenę poprawności zastosowanych interakcji.



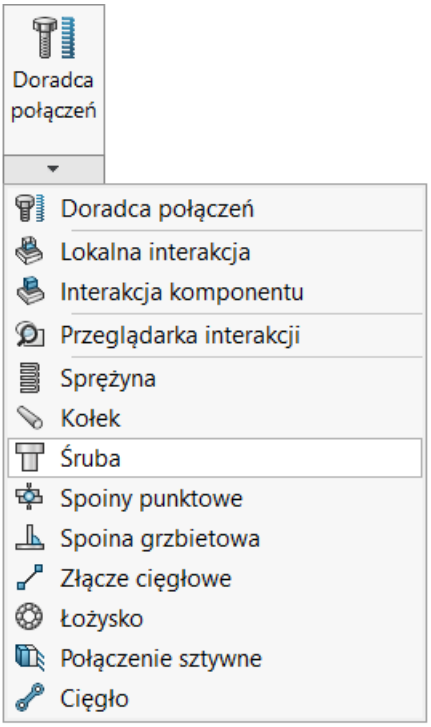

### *3.9.2. Dodanie własnego wykresu*

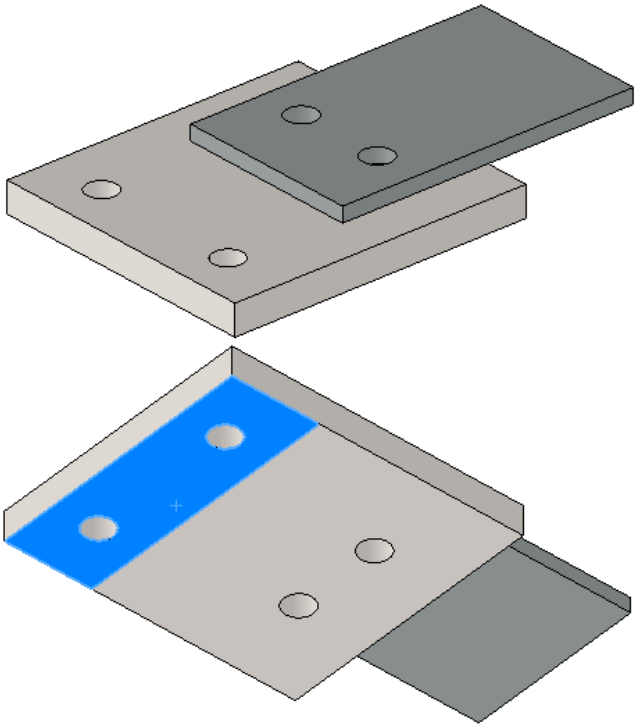
Istnieje możliwość dodania własnych wykresów, np. wykres współczynnika bezpieczeństwa.



## 4. Przykłady definicji połączeń śrubowych

Polecenie **Śruba** (z paska Simulation) oraz model obliczeniowy (niebieska ściana będzie opierać się na podłożu – uzyskana przez podział ściany):

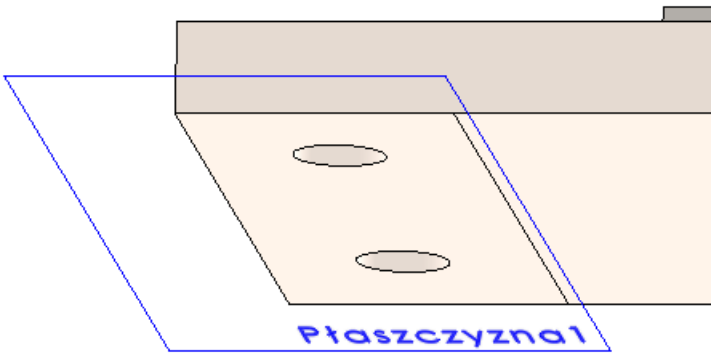


Model składa się z dwóch płyt (jak poprzednio), śruby fundamentowe mocują konstrukcję do podłoża, płyty zostaną skręcone śrubami.

**Czynności wstępne:**

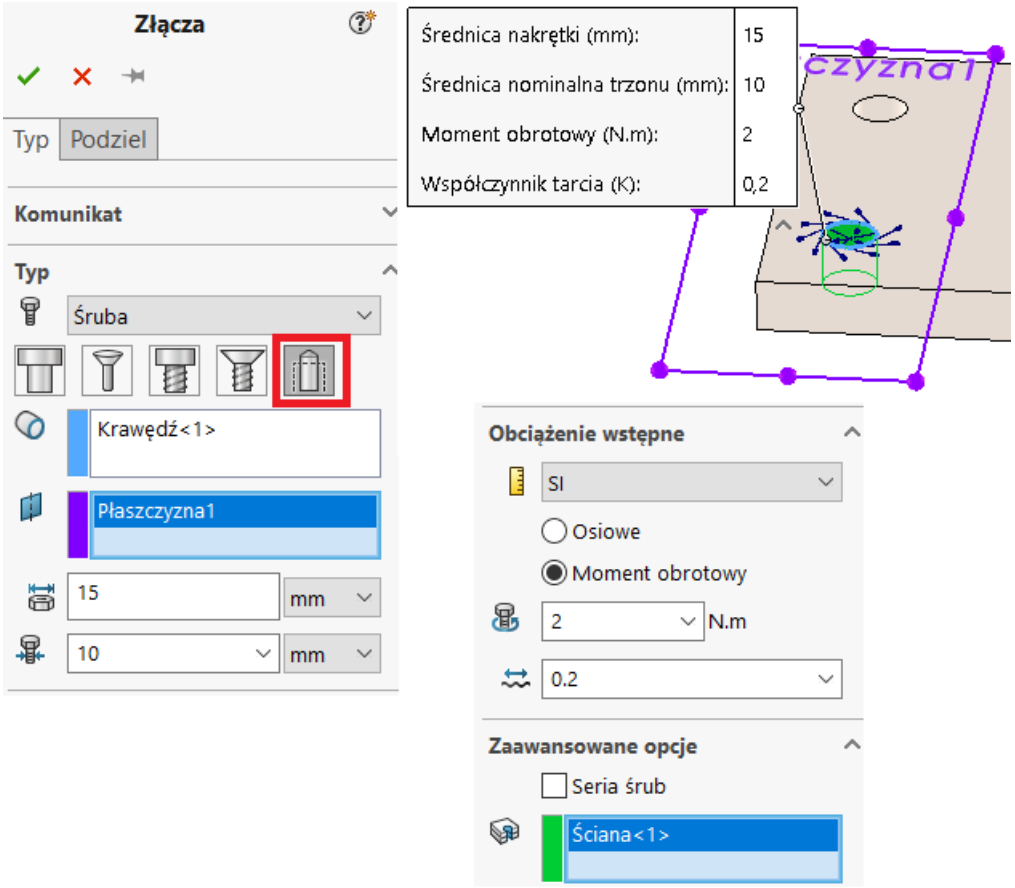
- Zadanie materiału,
- Wstawienie płaszczyzny w odległości 0 (zero) od ściany stykającej się z podłożem:



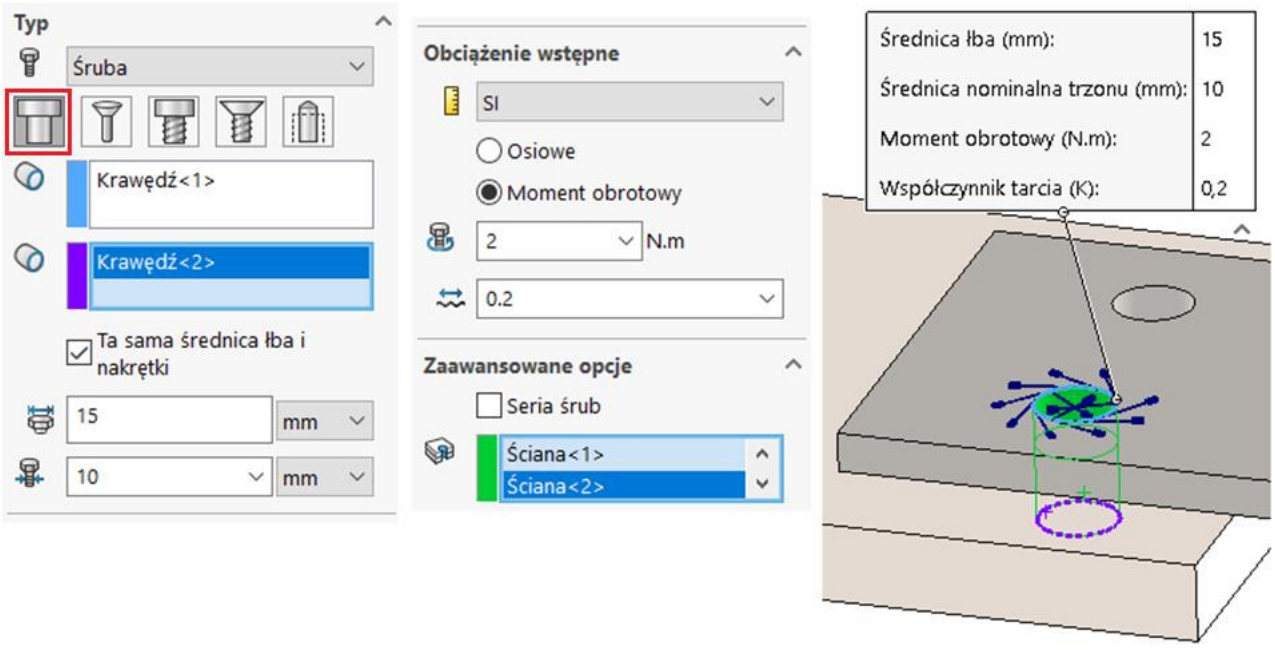

- Utworzenie badania: **Analiza statyczna**,
- Zamiana typu siatki na bryły,
- Zmiana interakcji globalnej na **Kontakt**.

## 4.1. Definicja śrub fundamentowych

Poniżej definicja śruby fundamentowej (parametry są tylko przykładowe):

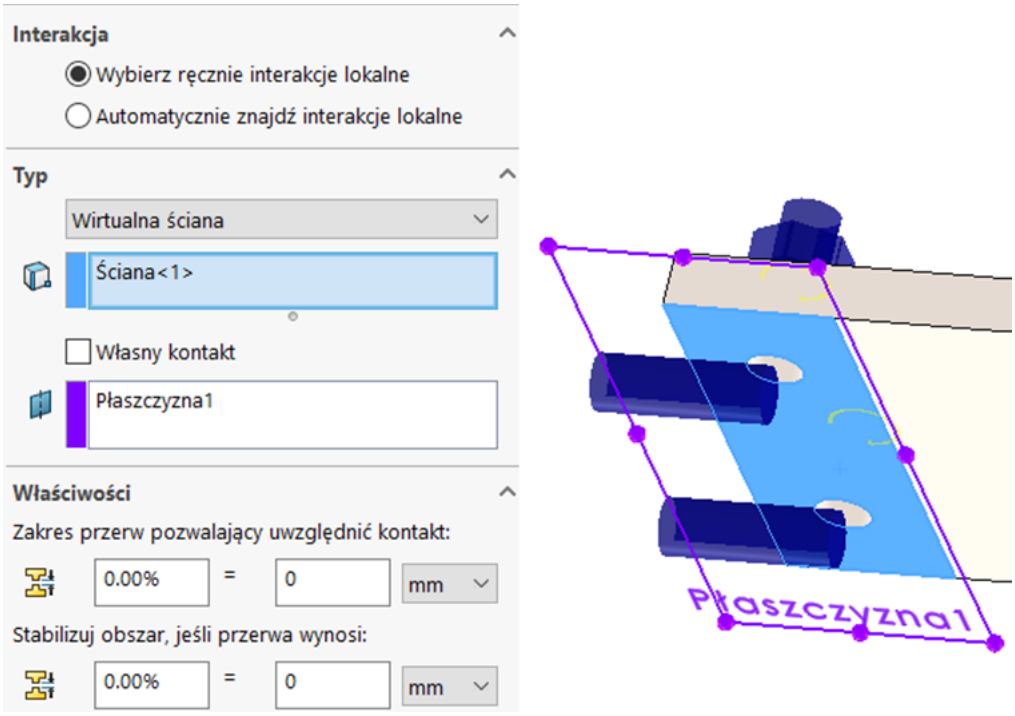



## 4.2. Definicja śrub złącznych

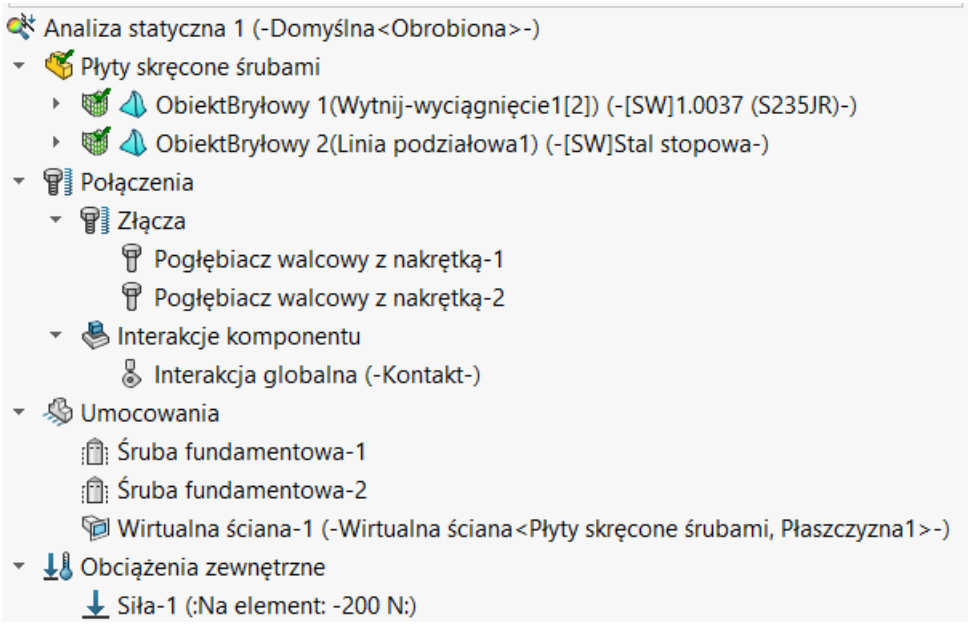


## 4.3. Definicja interakcji Wirtualna ściana

Interakcja **Wirtualna ściana** odzwierciedla oddziaływanie podłoża na elementy konstrukcji, np. gdy konstrukcja opiera się na betonowej posadzce, do której przymocowana jest śrubami.



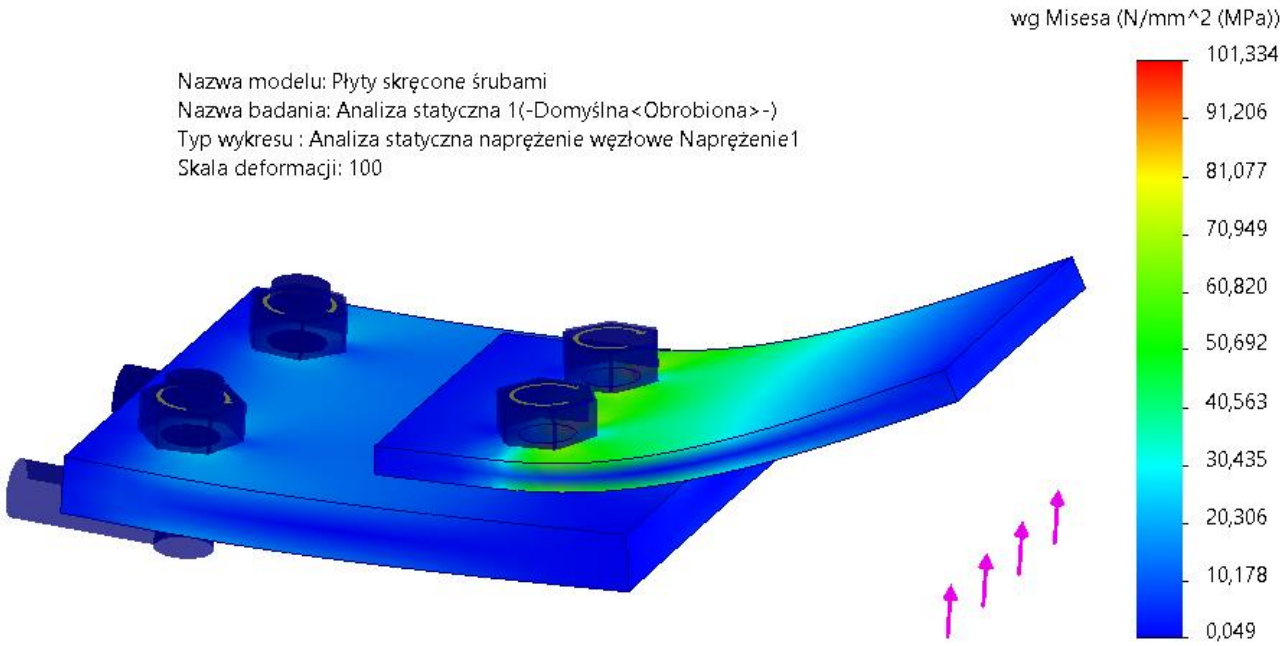

Drzewo Simulation po wykonaniu wszystkich ustawień:




Obciążenie siłą na krawędź jak w poprzednim przypadku.

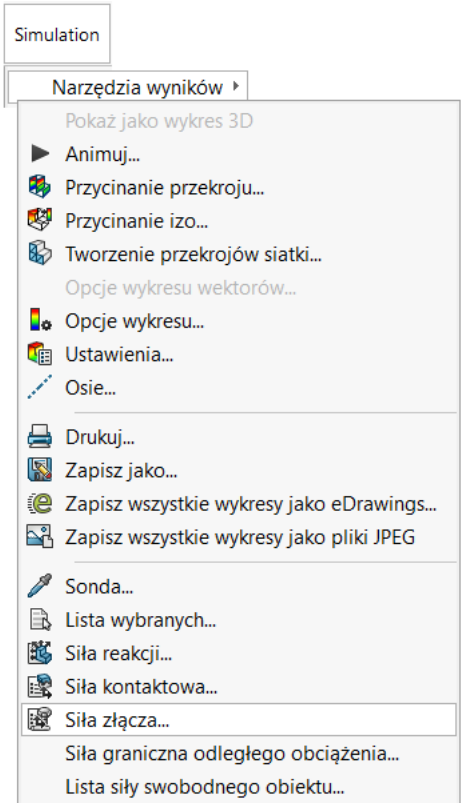
## 4.4. Wyniki

Poniżej wykres naprężeń w skali deformacji równej 100.

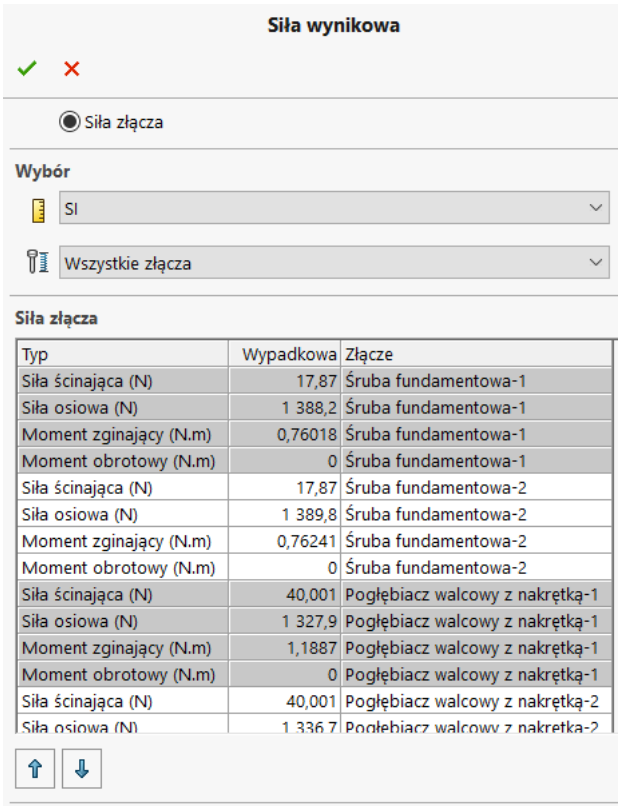



**Analiza wyników**

W menu Simulation dostępne są Narzędzia wyników:




Siły w złączach (w tym przypadku w śrubach):




| Typ | Wypadkowa | Złącze |
|---|---|---|
| Siła ścinająca (N) | 17,87 | Śruba fundamentowa-1 |
| Siła osiowa (N) | 1 388,2 | Śruba fundamentowa-1 |
| Moment zginający (N.m) | 0,76018 | Śruba fundamentowa-1 |
| Moment obrotowy (N.m) | 0 | Śruba fundamentowa-1 |
| Siła ścinająca (N) | 17,87 | Śruba fundamentowa-2 |
| Siła osiowa (N) | 1 389,8 | Śruba fundamentowa-2 |
| Moment zginający (N.m) | 0,76241 | Śruba fundamentowa-2 |
| Moment obrotowy (N.m) | 0 | Śruba fundamentowa-2 |
| Siła ścinająca (N) | 40,001 | Pogłębiacz walcowy z nakrętką-1 |
| Siła osiowa (N) | 1 327,9 | Pogłębiacz walcowy z nakrętką-1 |
| Moment zginający (N.m) | 1,1887 | Pogłębiacz walcowy z nakrętką-1 |
| Moment obrotowy (N.m) | 0 | Pogłębiacz walcowy z nakrętką-1 |
| Siła ścinająca (N) | 40,001 | Pogłębiacz walcowy z nakrętką-2 |
| Siła osiowa (N) | 1 336,7 | Pogłębiacz walcowy z nakrętką-2 |

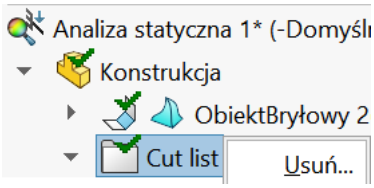
## 5. Obliczenia z zastosowaniem siatki belkowej i powłokowej (skorupy)

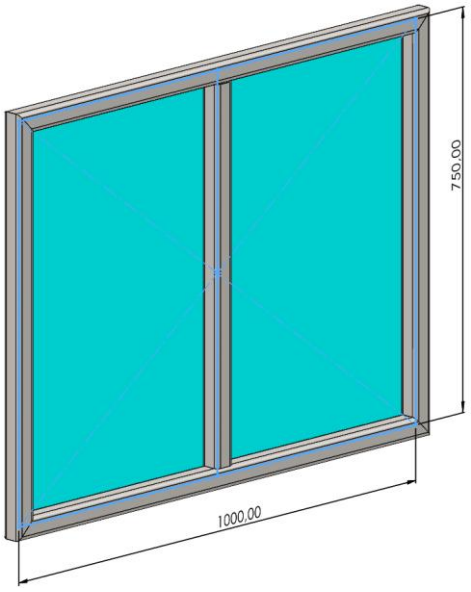
W poniższym przykładzie występują profile spawane oraz blacha, zespawane ze sobą.

Obliczenia zostaną przeprowadzone w celu wstępnej oceny wytrzymałości konstrukcji, zatem zostaną użyte siatki dające możliwości przeprowadzenia szybkich obliczeń. Nie będą rozważane sposoby łączenia blachy do profili, tzn. w których miejscach przekroju blacha została zespawana z profilem.

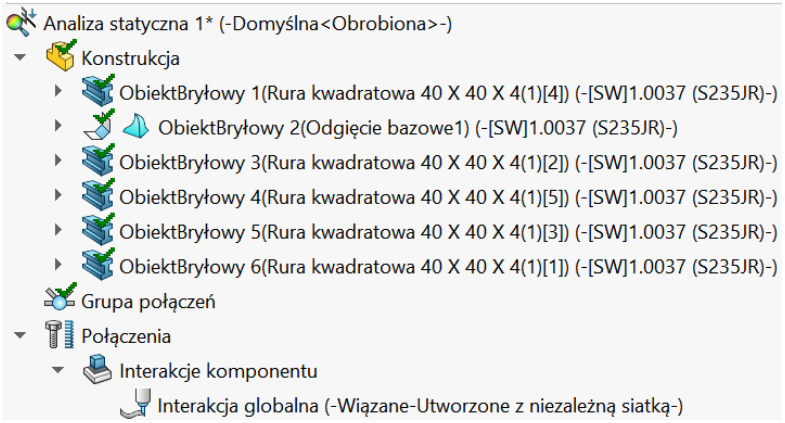
**Poniżej przedstawiono opis skrócony.**

Po utworzeniu analizy statycznej i usunięciu folderu Cutlist,



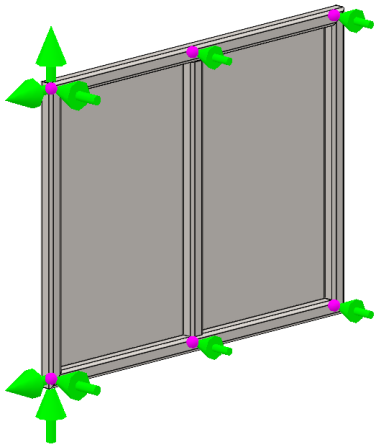

uzyskano poniższe drzewo Simulation:


Analiza statyczna 1* (-Domyślna<Obrobiona>-)
Konstrukcja
ObiektBryłowy 1(Rura kwadratowa 40 X 40 X 4(1)[4]) (-[SW]1.0037 (S235JR)-)
ObiektBryłowy 2(Odgięcie bazowe1) (-[SW]1.0037 (S235JR)-)
ObiektBryłowy 3(Rura kwadratowa 40 X 40 X 4(1)[2]) (-[SW]1.0037 (S235JR)-)
ObiektBryłowy 4(Rura kwadratowa 40 X 40 X 4(1)[5]) (-[SW]1.0037 (S235JR)-)
ObiektBryłowy 5(Rura kwadratowa 40 X 40 X 4(1)[3]) (-[SW]1.0037 (S235JR)-)
ObiektBryłowy 6(Rura kwadratowa 40 X 40 X 4(1)[1]) (-[SW]1.0037 (S235JR)-)
Grupa połączeń
Połączenia
Interakcje komponentu
Interakcja globalna (-Wiązane-Utworzone z niezależną siatką-)

**<u>W modelu występuje siatka belkowa i powłokowa (skorupy).</u>**

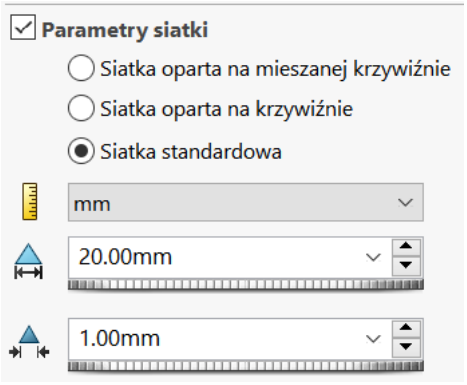
Umocowania w połączeniach:

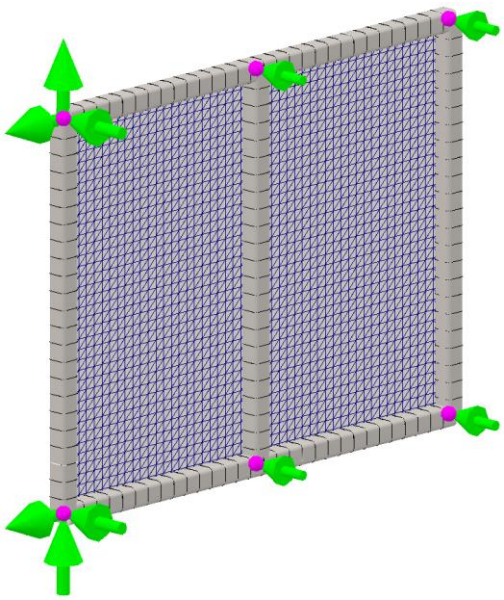
- w dwóch połączeniach odebrano trzy przesunięcia,
- w pozostałych połączeniach odebrano jedno przesunięcie, w kierunku przedstawionym na rysunku z prawej.



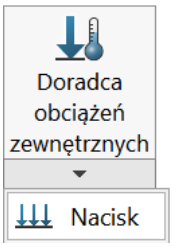
**Siatka:**

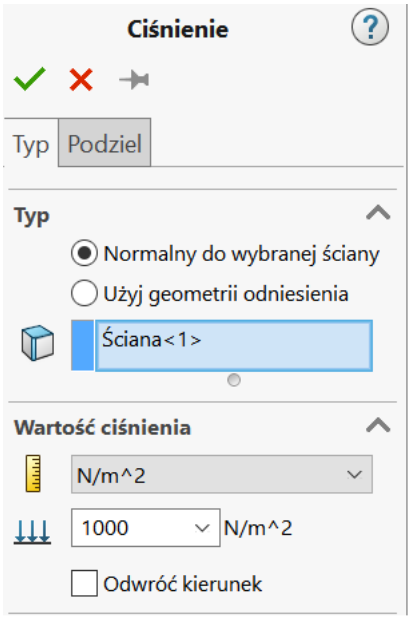
Parametry siatki (odnoszące się do blachy):

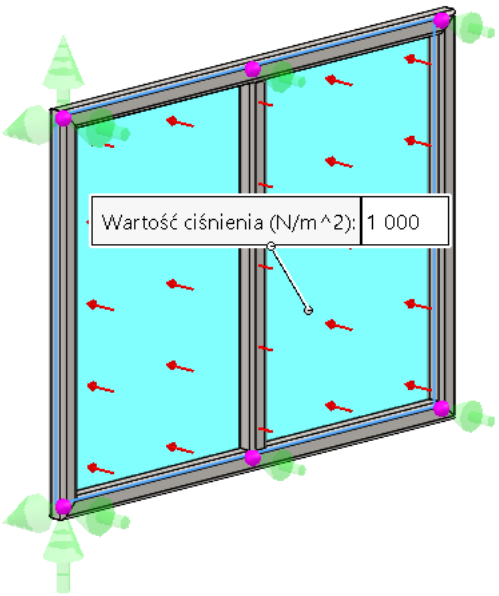


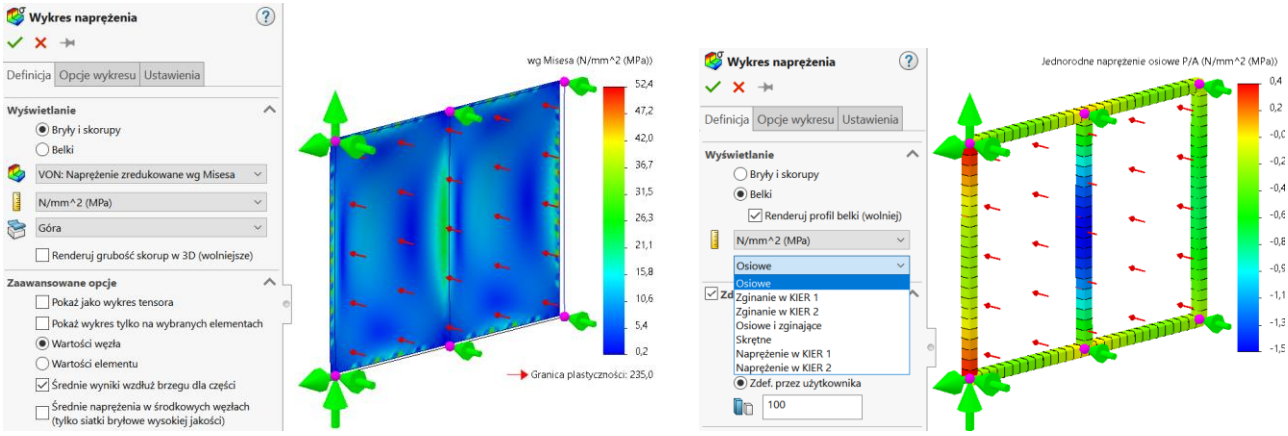
**Obciążenie:**



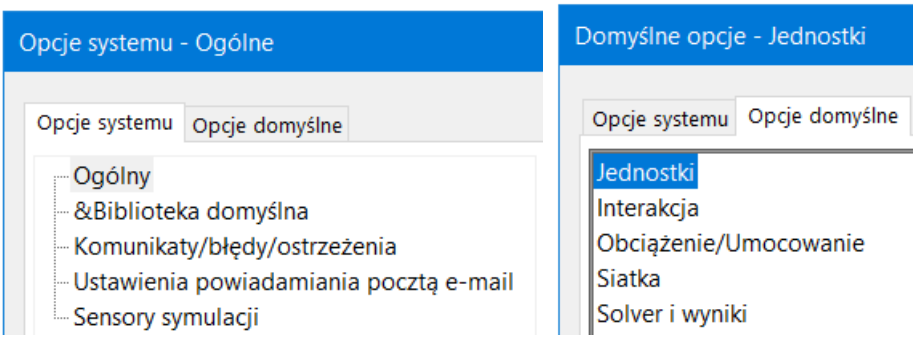

Przykłady wyników, z lewej naprężenia blachy, z prawej wybrane naprężenia (osiowe) w belkach:

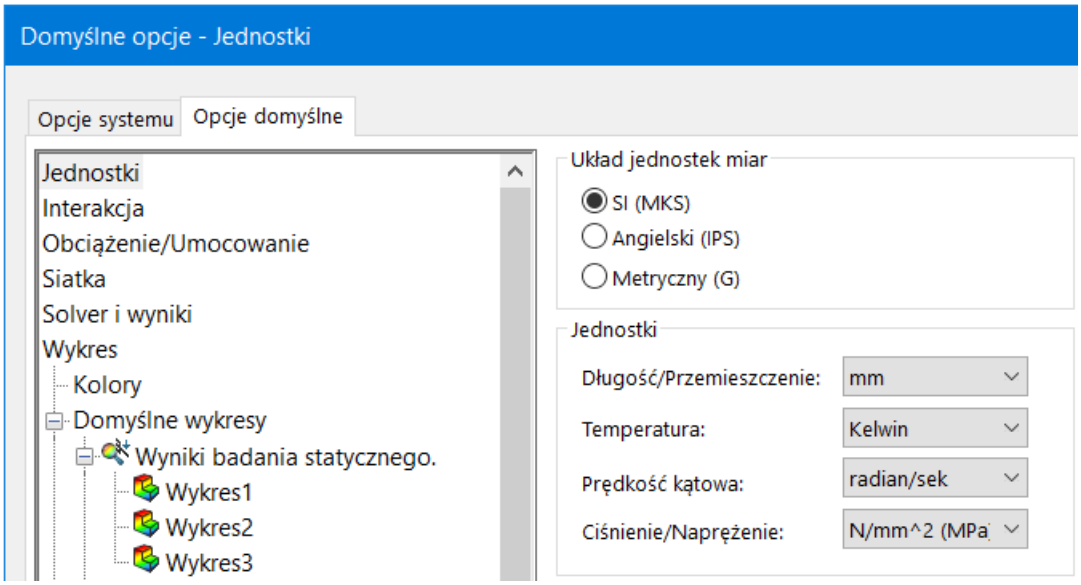


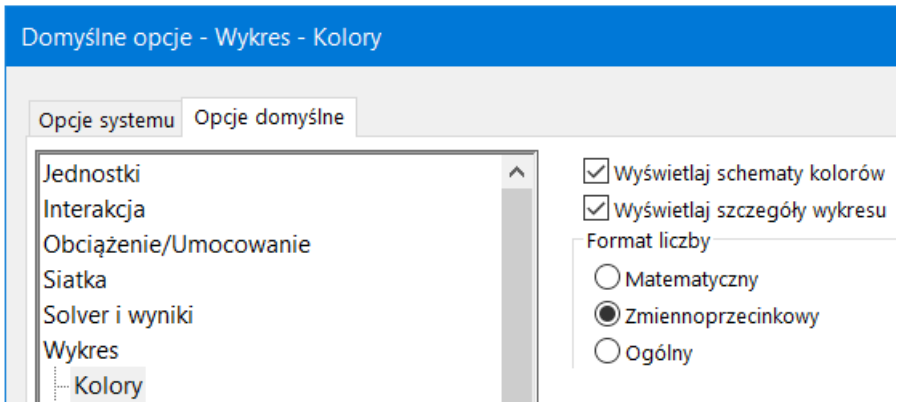
## 6. Opcje SolidWorks Simulation

Menu Simulation > Opcje.

Istnieje możliwość ustawienia opcji domyślnych, np. jednostki wyników i wyświetlanie liczba w zapisie zmiennoprzecinkowym.



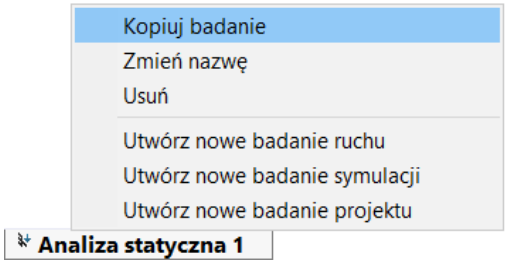



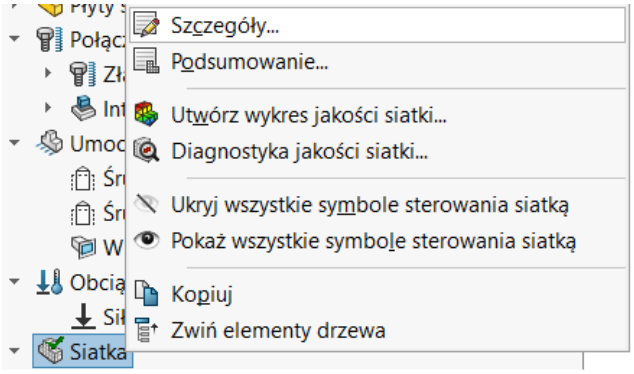
## 7. Podsumowanie

Wykonując obliczenia należy pamiętać o tym, że:

- wyniki obliczeń zależą od gęstości siatki, po wykonaniu obliczeń warto utworzyć kopię badania i przeliczyć na bardziej gęstej siatce,

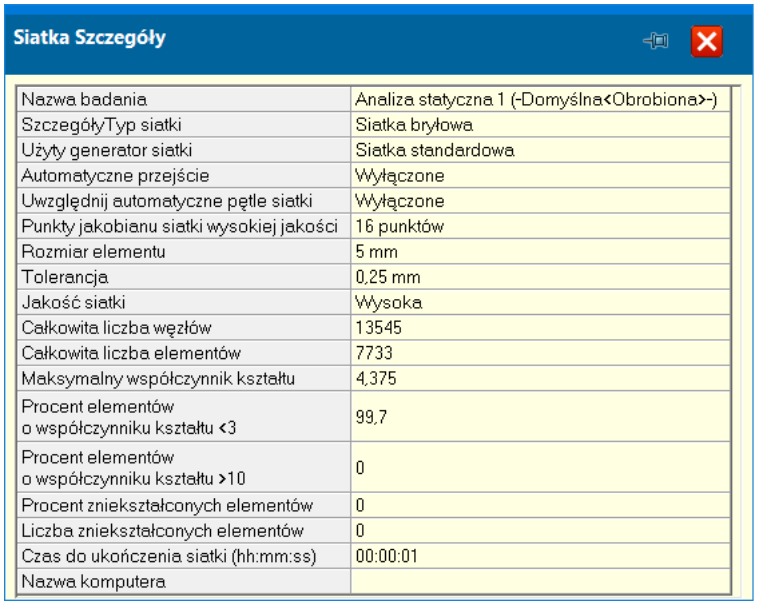



- jakość siatki można ocenić sprawdzając jej parametry:




- nie wystarczy porównanie maksymalnych naprężeń z granicą plastyczności – należy poddać wyniki analizie, co najmniej przez przycinanie IZO.

Szczegóły siatki:

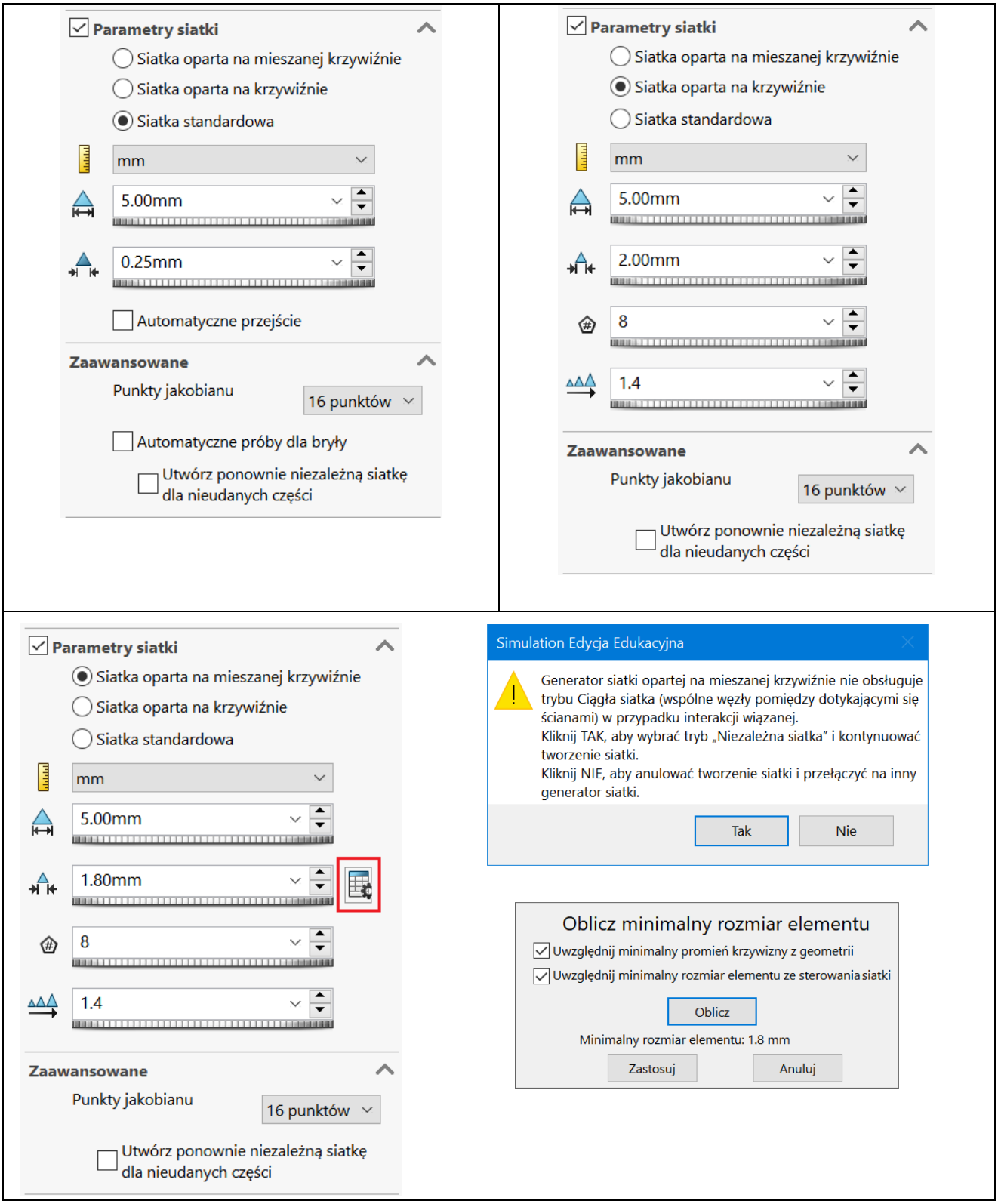



| | |
|---|---|
| Nazwa badania | Analiza statyczna 1 (-Domyślna<Obrobiona>-) |
| SzczegółyTyp siatki | Siatka bryłowa |
| Użyty generator siatki | Siatka standardowa |
| Automatyczne przejście | Wyłączone |
| Uwzględnij automatyczne pętle siatki | Wyłączone |
| Punkty jakobianu siatki wysokiej jakości | 16 punktów |
| Rozmiar elementu | 5 mm |
| Tolerancja | 0,25 mm |
| Jakość siatki | Wysoka |
| Całkowita liczba węzłów | 13545 |
| Całkowita liczba elementów | 7733 |
| Maksymalny współczynnik kształtu | 4,375 |
| Procent elementów o współczynniku kształtu <3 | 99,7 |
| Procent elementów o współczynniku kształtu >10 | 0 |
| Procent zniekształconych elementów | 0 |
| Liczba zniekształconych elementów | 0 |
| Czas do ukończenia siatki (hh:mm:ss) | 00:00:01 |
| Nazwa komputera | |

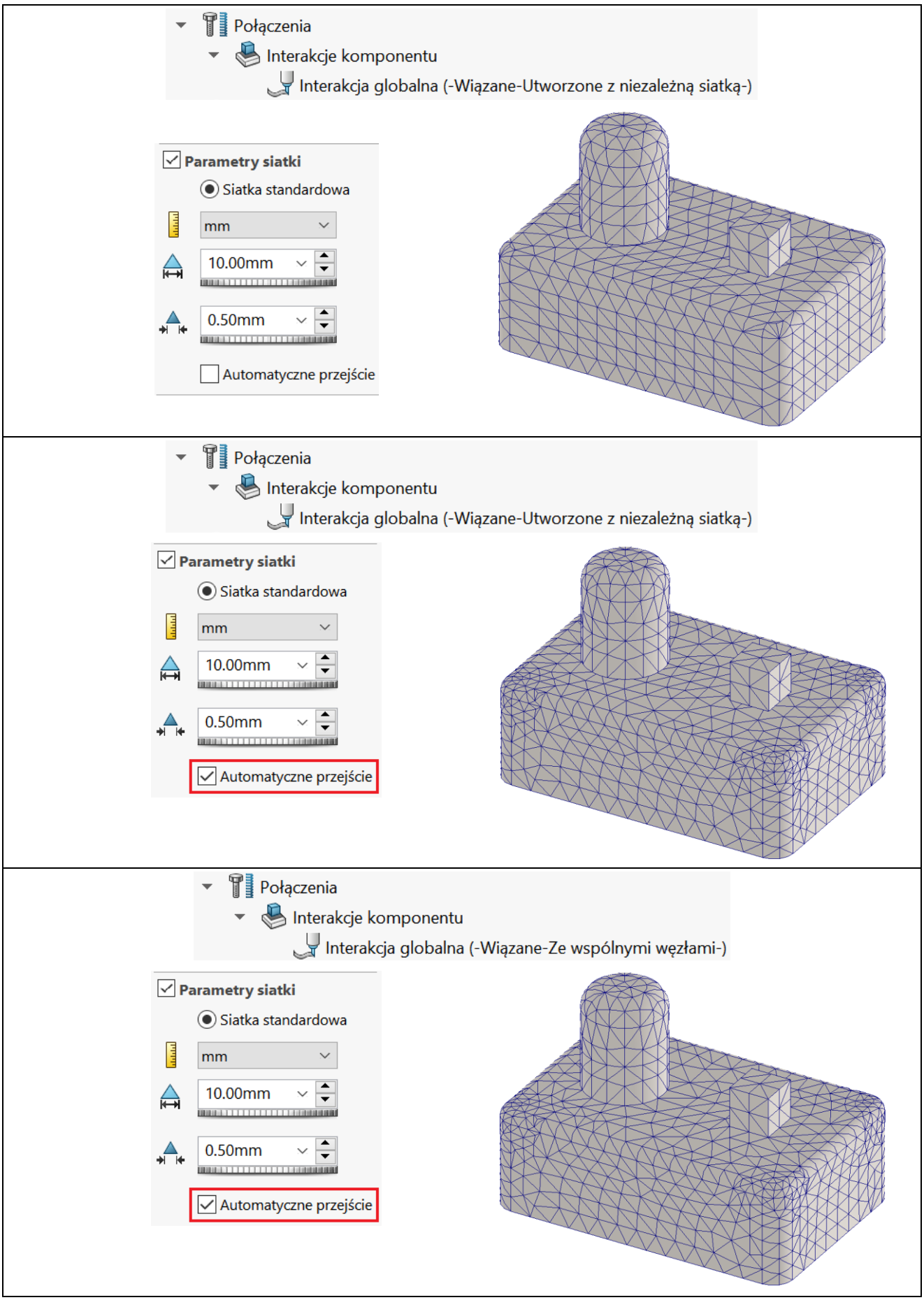
Poprawna siatka powinna posiadać jak najwięcej elementów skończonych o współczynniku kształtu poniżej 3 oraz jak najmniej elementów o współczynniku większym niż 10.

Przed wykonaniem obliczeń warto sprawdzić liczbę elementów skończonych – duża liczba elementów wymaga większego czasu obliczeń i większej mocy komputera.

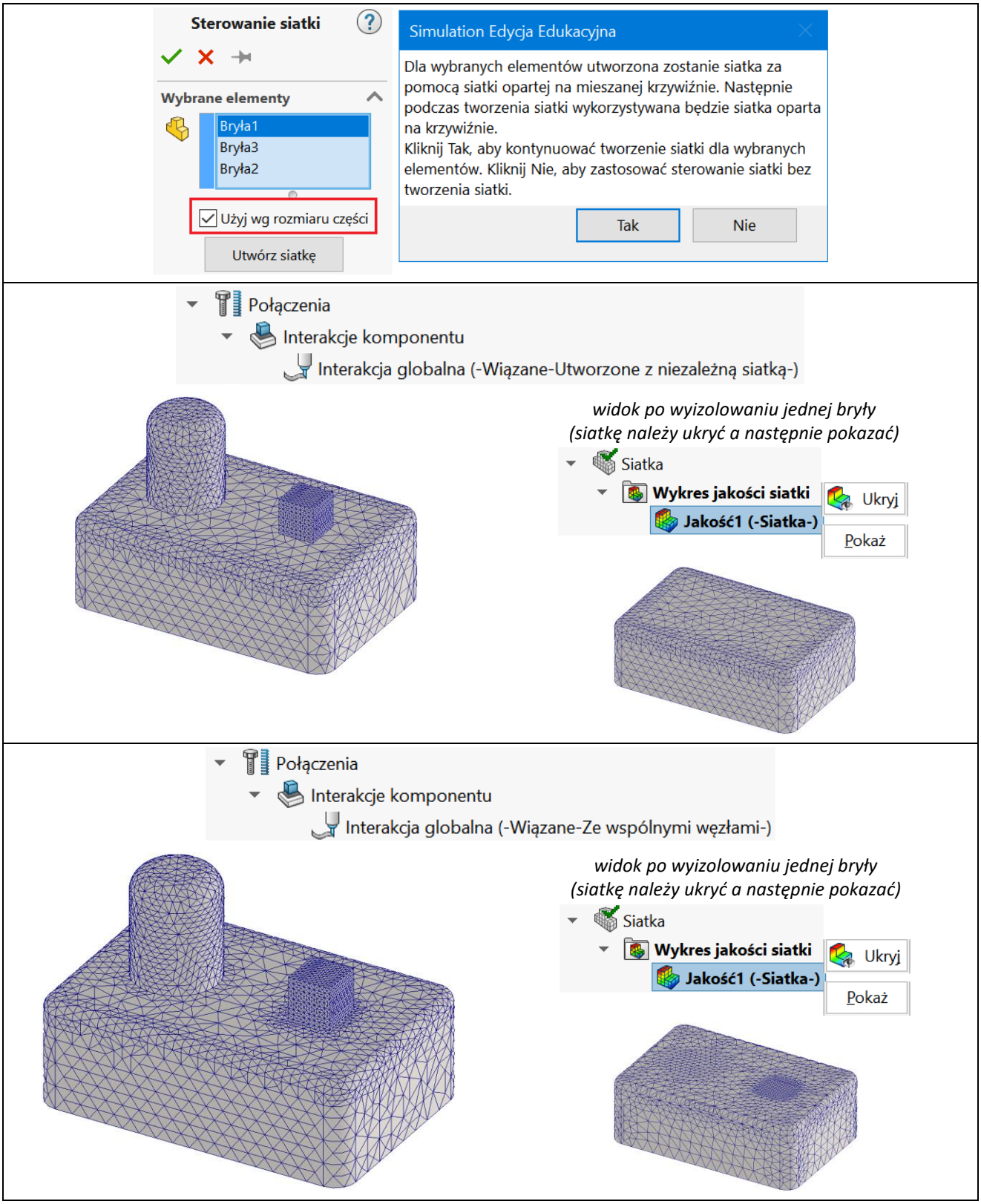
W przypadku wyboru innego algorytmu tworzenia siatki dostępne są inne parametry określające wielkość siatki, przykłady poniżej:



Poniżej przykłady wpływu opcji ☐ Automatyczne przejście na lokalne zagęszczenie siatki (model wielobryłowy):



Poniżej przedstawiony został wpływ opcji ☑ Użyj wg rozmiaru części, dostępnej w sterowaniu siatki.




Dodatek SolidWorks Simulation oferuje duże możliwości obliczeń wytrzymałościowych, jednakże wymaga poznania stosowanych w nim definicji i sposobów prezentacji. Nie można efektywnie stosować omawianego programu bez wiedzy z zakresu wytrzymałości materiałów i choćby podstawowej wiedzy z zakresu Metody Elementów Skończonych (np. przeznaczenia typów elementów skończonych).

**Użytkownik musi zadbać o to, aby wprowadzone ustawienia (mocowanie, obciążenie, interakcja, materiał itd.) właściwie odzwierciedlały warunki pracy obliczanej konstrukcji.**